



**Aalto-yliopisto**  
Insinöörیتieteiden  
korkeakoulu

Antti Huttunen

## **Ympäristönsuojeluvaatimukset energiapalveluliiketoiminnassa**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 20.2.2017

Valvoja: Professori Pekka Ahtila

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Janne Kerttula

---

**Tekijä** Antti Huttunen

---

**Työn nimi** Ympäristönsuojeluvaatimukset energiapalveluliiketoiminnassa

---

**Koulutusohjelma** Energia- ja LVI-tekniikka

---

**Pääaine** Energiatekniikka

---

**Koodi** K3007

---

**Työn valvoja** Prof. Pekka Ahtila

---

**Työn ohjaaja** DI Janne Kerttula

---

**Päivämäärä** 20.2.2017

---

**Sivumäärä** 97+16

---

**Kieli** suomi

---

### Tiivistelmä

Uusia alle 50 megawattia polttoaineteholtaan olevia polttolaitoksia on vuodesta 2013 koskenut Valtioneuvoston asetus 750/2013 (Pienten Polttolaitosten asetus, PIPO). Olemassa olevat polttolaitokset siirtyvät PIPO:n piiriin viimeistään vuoden 2018 alusta. Tulevaisuudessa pieniä polttolaitoksia tulee koskemaan myös Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 (MCP, *engl. Medium Combustion Plant Directive*), jonka piiriin olemassa olevat pienet polttolaitokset siirtyvät vuoden 2025 tai 2030 alussa riippuen laitoksen polttoainetehosta. Pieniä polttolaitoksia koskeva ympäristölainsäädäntö on energiapalveluliiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa, koska merkittävä osa liiketoimintaan liittyvistä polttolaitoksista on tässä kokoluokassa.

PIPO ja MCP asettavat polttolaitosten hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöille aikaisempaa tiukempia päästöraja-arvoja. Lisäksi PIPO ja MCP sisältävät muita määräyksiä, joiden tarkoitus on rajoittaa polttolaitosten aiheuttamaa ympäristörasitusta. Kii-ristyvät päästöraajat vaativat joissakin tapauksissa polttolaitoksen polttoaineen vaihtamista tai savukaasujen puhdistamista. Kokonaistaloudellisimman ja teknisesti sopivan ratkaisun löytäminen vaatii sekä eri polttoainelaatujen, että eri puhdistuskeinojen ver- tailemista tapauskohtaisesti eri polttolaitoksissa.

Tässä diplomityössä on selvitetty PIPO:n ja MCP:n vaatimia muutoksia teollisuuden energiapalveluita tuottavan Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:n (lyhen- nettyinä STEP) polttolaitoksissa. STEP tuottaa energiapalveluita teollisuusasiakkaille Harjavallan Suurteollisuuspuistossa, Koskenkorvalla, Seinäjoella ja Kaustisilla. Esi- merkkeinä selvityksessä huomatuista tarpeellisista muutoksista ovat kemikaalisäiliöiden suoja- altaiden lisääminen tai suurentaminen, polttoöljyn purkupaikkojen asfaltointien parantaminen, sekä puuttuvien jatkuvatoimisten mittausten lisääminen.

Suurimmat muutokset liittyvät uusien päästöraja-arvojen saavuttamiseen. Seinäjoen laitos täyttää jo valmiiksi uudet päästöraja-arvot. Kaustisen osalta ratkaisuksi riittävät vähempirikkisen turpeen käyttäminen ja multisyklonin toiminnan parantaminen. Har- javallan ja Koskenkorvan osalta erilaisia vaihtoehtoja nykyisen rikkipitoisuudeltaan 1 % raskaan polttoöljyn korvaajaksi on useita, ja paras vaihtoehto riippuu siitä, mitä paino- tetaan. Harjavallan laitoksen kannalta parhaat vaihtoehdot ovat rikkipitoisuudeltaan 0,1 % raskas polttoöljy, nestekaasu ja nesteytetty maakaasu. Koskenkorvan laitoksen parhaat vaihtoehdot taas ovat rikkipitoisuudeltaan 0,5 % raskas polttoöljy, sekä 0,5 % raskaan polttoöljyn ja sikunan monipoltto.

---

**Avainsanat** energiapalvelut, ympäristönsuojelulaki, PIPO, MCP

---



---

**Author** Antti Huttunen

---

**Title of thesis** Environmental regulations in energy service business

---

**Degree programme** Energy and HVAC-technology

---

**Major** Energy technology

**Code** K3007

---

**Thesis supervisor** Professor Pekka Ahtila

---

**Thesis advisor** Janne Kerttula M.Sc. (Tech.)

---

**Date** 20.2.2017

**Number of pages** 97+16

**Language** Finnish

---

## **Abstract**

The Finnish government decree 750/2013 (PIPO, *Finnish Pienet Polttolaitokset*) is an environmental decree that is applied to new small-to-medium sized (below 50 megawatts of fuel power) combustion plants in Finland from 2013 and to the existing plants in Finland from 2018. Depending on the fuel power, from 2025 or 2030 also a new environmental EU Directive 2015/2193 (MCP, Medium Combustion Plant Directive) will be applied to the small-to-medium sized plants in the EU region. The legislation concerning small-to-medium sized combustion plants is fundamental in energy service business, since the majority of the combustion plants are in this size range.

PIPO and MCP set stricter particle matter, nitric oxide and sulfur dioxide emission limits for the small-to-medium sized combustion plants. In addition PIPO and MCP dictate other orders aimed to the reduction of the environmental strain caused by the combustion plants. In some cases the tightening emission limits demand changing of the fuel or investing into flue gas cleaning systems. In order to find economically best alternatives, which are also technically viable, the different fuels and cleaning systems must be compared case-by-case.

This thesis focuses on the changes required by PIPO and MCP in the combustion plants of the client of the thesis, Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy. STEP is an energy service provider for industrial clients that operate in Harjavalta Industrial Park, Koskenkorva, Seinäjoki and Kaustinen. Most of the changes required were found to be minor. As an example can be mentioned adding or magnifying catchment tanks for chemicals, improving the asphalt of the fuel oil loading areas, and adding continuous emission meters to the existing boilers.

The major changes concerned the stricter emission limits. Seinäjoki plant already fulfils the new emission limits. For Kaustinen plant the solutions are simple and require the usage of peat with lower sulfur content, and improving the multicyclone. With Harjavalta and Koskenkorva's cases there are multiple options for the replacement of the currently used heavy fuel oil with 1 % of sulfur and the optimal alternatives depend on how the different aspects are emphasized. For Harjavalta the best options are heavy fuel oil with 0,1 % of sulfur, liquefied petroleum gas, and liquefied natural gas. For Koskenkorva the best options are heavy fuel oil with 0,5 % sulfur, and heavy fuel oil with 0,5 % sulfur used alongside a distilled alcohol, which is a by-product of the industrial client's process.

---

**Keywords** energy services, environmental law, PIPO, MCP

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:lle. Yrityksessä oli jo ennen työn aloittamista hahmotettu, että STEPin kohteissa on tehtävä muutoksia käytettävien polttoaineiden suhteen ennen PIPO-asetuksen piiriin siirtymistä. Koska polttoainevaihtoehtoja oli useita, eikä muita PIPO-asetuksen tai tulevan MCP-direktiivin vaikutuksia STEPin kohteisiin ollut tutkittu, päädyttiin työstä teettämään diplomityö, joka kokoaa yhteen tarvittavat muutokset ja vertailee eri polttoainevaihtoehtoja teknistaloudellisesti. Näin ollen diplomityö toimii polttoaineiden vaihtamisiin liittyvien projektien esiselvityksenä.

Haluan kiittää Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:tä mahdollisuudesta tehdä mielenkiintoinen ja ajankohtainen diplomityö, jonka tulosten pohjalta tehdyt päätökset realisoituvat vuoden 2017 aikana. Erityisesti haluan kiittää työn ohjaajana toiminnutta STEPin myyntipäällikkö Janne Kerttulaa arvokkaista neuvoista ja ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää STEPin muuta henkilöstöä avusta ja kannustuksesta, jota olen saanut työtä tehdessäni. Kiitokseni kuuluu myös työn valvojalle, Aalto-yliopiston professori Pekka Ahtilalle, jolta sain oivallisia kommentteja diplomityön teon aikana.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani, siskoani, läheisiäni ja ystäviäni heidän minulle antamastaan tuesta ja kannustuksesta opiskeluvuosien ja diplomityön teon aikana.

Helsinki 20.2.2017

Antti Huttunen

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällys

Merkinnät

Lyhenteet

1	Johdanto .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Tutkimusongelma ja tavoitteet .....	1
1.3	Työn rajaus ja rakenne .....	2
2	Energiateollisuutta ohjaava lainsäädäntö .....	3
2.1	Pienten energiantuotantoyksiköiden normi 2010 .....	4
2.2	Pienten polttolaitosten asetus 2013 .....	6
2.3	Medium combustion plant -direktiivi 2015 .....	8
3	Savukaasupäästöt .....	11
3.1	Hiukkaspäästöt .....	11
3.1.1	Muodostuminen .....	12
3.1.2	Dynaamiset erottimet .....	16
3.1.3	Sähkösuodattimet .....	17
3.1.4	Kuitusuodattimet .....	18
3.1.5	Savukaasupesurit .....	19
3.2	Typen oksidit .....	20
3.2.1	Muodostuminen .....	20
3.2.2	Palamistekniset vähennyskeinot .....	24
3.2.3	Selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistäminen .....	26
3.2.4	Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen .....	27
3.3	Rikin oksidit .....	29
3.3.1	Muodostuminen .....	29
3.3.2	Märkämenetelmä .....	31
3.3.3	Puolikuiva menetelmä .....	33
3.3.4	Kuivamenetelmä .....	33
3.3.5	Regeneroivat menetelmät .....	34
4	Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:n kohteiden esittely .....	35
4.1	Harjavallan Suurteollisuuspuisto .....	35
4.1.1	STEPin kattilat .....	36
4.1.2	Lämmöntalteenottokattilat ja rikkihappotehtaat .....	42
4.1.3	Muu toimintaympäristö .....	42
4.1.4	Yhteenveto .....	44
4.2	Altia Oyj Koskenkorva .....	45
4.2.1	Kattilat .....	45
4.2.2	Muu toimintaympäristö .....	48
4.2.3	Yhteenveto .....	50
4.3	Findest Protein Oy Kaustinen .....	51
4.3.1	Kattilat .....	51
4.3.2	Muu toimintaympäristö .....	53
4.3.3	Yhteenveto .....	54

4.4	Hankkija Oy Seinäjoki .....	55
4.4.1	Kattilat .....	55
4.4.2	Muu toimintaympäristö .....	57
4.4.3	Yhteenveto .....	58
5	STEPin kohteiden skenaariot .....	59
5.1	Harjavalta .....	59
5.1.1	1 % Raskas polttoöljy .....	60
5.1.2	0,5 % Raskas polttoöljy .....	61
5.1.3	0,1 % Raskas polttoöljy .....	62
5.1.4	Kevyt polttoöljy .....	64
5.1.5	1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seos .....	65
5.1.6	0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seos .....	66
5.1.7	Pyrolyysiöljy .....	67
5.1.8	Nesteytetty maakaasu .....	68
5.1.9	Nestekaasu .....	70
5.2	Koskenkorva .....	72
5.2.1	Kevyt polttoöljy .....	72
5.2.2	0,5 % raskas polttoöljy .....	73
5.2.3	Nestekaasu .....	74
5.2.4	Sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy .....	75
5.2.5	Sikuna ja nestekaasu .....	76
6	Teknitaloudellisesti optimaalinen ratkaisu .....	78
6.1	Harjavalta .....	78
6.1.1	Kustannusten vertailu .....	78
6.1.2	Ominaisuuksien vertailu .....	81
6.1.3	Optimaalinen skenaario .....	83
6.2	Koskenkorva .....	85
6.2.1	Kustannusten vertailu .....	85
6.2.2	Ominaisuuksien vertailu .....	88
6.2.3	Optimaalinen skenaario .....	89
7	Johtopäätökset ja yhteenveto .....	91
	Lähdeluettelo .....	93
	Liiteluettelo .....	97
	Liitteet	

## Merkinnät

$L$	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	päästöraja-arvo
$\dot{m}$	[kg/s]	massavirta
$q_{net,m}$	[MJ/kg]	tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

## Lyhenteet

ATEX	<i>Atmosphères Explosibles</i> , räjähdysvaaralliset tilat
BAT	<i>Best Available Technology</i> , paras käyttökelpoinen tekniikka
BFB	<i>Bubbling Fluidized Bed</i> , kupliva leijupetikattila
BOHA	Boliden Harjavalta Oy
CFB	<i>Circulating Fluidized Bed</i> , kiertopetikattila
CFC	<i>Chlorofluorocarbon</i> , freonit
CHP	<i>Combined Heat and Power</i> , sähkön ja lämmön yhteistuotanto
ESCO	<i>Energy Service Company</i> , energiapalveluita tarjoava yritys
ESP	<i>Electrostatic Precipitator</i> , sähkösuodatin
FGD	<i>Flue Gas Desulfurization</i> , savukaasujen rikinpoisto
FGR	<i>Flue Gas Recirculation</i> , savukaasujen takaisinkiertäminen
FR	<i>Fuel Reburning</i> , polttoaineen vaiheistus
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i> , raskas polttoöljy
IE	<i>Industrial Emission Directive</i> , teollisuuden päästöjä rajaava direktiivi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2010/75/EU)
LCP	<i>Large Combustion Plant Directive</i> , suurten polttolaitosten päästöjä rajaava direktiivi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/80/EY)
LFO	<i>Light Fuel Oil</i> , kevyt polttoöljy
LNB	<i>Low-NO<sub>x</sub> Burner</i> , low-NO <sub>x</sub> poltin
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> , nesteytetty maakaasu
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i> , nestekaasu
LTO	Lämmöntalteenotto
LUVO	<i>Luft-Vorwärmer</i> , palamisilman esilämmitin
MCP	<i>Medium Combustion Plant Directive</i> , pienten ja keskikokoisten polttolaitosten päästöjä rajaava direktiivi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193)
NNH	Norilsk Nickel Harjavalta Oy
OFA	<i>Overfire Air</i> , palamisilman vaiheistus
PINO	Pienten energiantuotantoyksiköiden Normi (Valtioneuvoston asetus 445/2010 polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista)
PIPO	Pienten Polttolaitosten asetus (Valtioneuvoston asetus 750/2013 polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista)
PM	<i>Particulate Matter</i> , hiukkaset
RH	Rikkihappotehdas
SCR	<i>Selective Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction</i> , typen oksidien katalyyttinen vähentäminen
SNCR	<i>Selective Non-Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction</i> , typen oksidien vähentäminen ammoniakkiuiskutuksella
SUPO	Suurten Polttolaitosten asetus (Valtioneuvoston asetus 936/2014 suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta)
STEP	Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Ihmisen toiminta maapallolla kuormittaa planeettamme ympäristöä. Tämän kuormituksen vähentämiseksi, tai edes kuormituksen kasvun kontrolloimiseksi, on välttämätöntä säätää jatkuvasti tiukempia ihmisen toimintaa rajoittavia tai ohjaavia lakeja. Suomessa kuormitusta rajoittava ympäristönsuojelulainsäädäntö muodostuu ympäristönsuojelulaista ja sitä tarkentavista säädöksistä. Lainsäädäntö vaikuttaa erityisen paljon energiateollisuuteen, joka aiheuttaa merkittävän osan ympäristöä kuormittavista päästöistä.

Energiapalveluliiketoiminta on osa energiateollisuutta. Energiapalveluita tuottavalla yrityksellä (ESCO, *engl. Energy Service Company*) tarkoitetaan laaja-alaisesti energiaan liittyviä ratkaisuita tarjoavaa yritystä. Erilaisia ratkaisuita voivat olla esimerkiksi uuden energiantuotantokapasiteetin projektointi, energiatehokkuuden auditointi, energiatehokkuusprojektin suunnittelu ja toteutus, hankintapalvelut, käyttö- ja kunnossapitopalvelut, energia-puolen riskienhallinta, ja energiaraportointi. Energiapalveluyritys antaa asiakasyritykselleen mahdollisuuden keskittyä ydinliiketoimintaansa.

Erityisesti 2000-luvulla on herätty ympäristönsuojelulainsäädännön kehittämiseen. Nykyään voimassa on vuoden 2014 ympäristönsuojelulaki 527/2014. Ympäristönsuojelulain nojalta on laadittu asetuksia, jotka tarkentavat energiantuotannon ympäristönsuojeluvaatimuksia. Polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitoksia (suuret polttolaitokset) on vuoden 2016 alusta alkaen koskenut Valtioneuvoston asetus 936/2014. Alle 50 MW polttoaineteholtaan olevia polttolaitoksia (pienet polttolaitokset) on vuoden 2010 kesäkuusta asti koskenut Valtioneuvoston asetus 445/2010 (Pienten energiantuotantoyksiköiden Normi, PINO). Pieniä polttolaitoksia koskeva lainsäädäntö on liiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa, koska merkittävä osa energiapalveluliiketoimintaan liittyvistä polttolaitoksista on kooltaan alle 50 megawattia polttoaineteholtaan.

PINO kumottiin vuonna 2013 Valtioneuvoston asetuksella 750/2013 (Pienten Polttolaitosten asetus, PIPO), jonka jälkeen uudet pienet polttolaitokset ovat olleet PIPO:n piirissä. Olemassa olevat polttolaitokset siirtyvät PIPO:n piiriin ympäristölupaa muutettaessa, tai viimeistään vuoden 2018 alusta. Uusin pieniä polttolaitoksia koskeva säädös on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 (MCP, *engl. Medium Combustion Plant Directive*). Olemassa olevat pienet polttolaitokset siirtyvät direktiivin pohjalta laadittavan asetuksen piiriin vuoden 2025 alusta, jos niiden polttoaineteho on yli 5 megawattia, tai vuoden 2030 alusta, jos niiden polttoaineteho on enintään 5 megawattia.

## 1.2 Tutkimusongelma ja tavoitteet

Olemassa olevien polttolaitosten osalta vuonna 2018 voimaantuleva PIPO, ja laitoksen polttoainetehosta riippuen vuonna 2025 tai 2030 voimaantuleva MCP muuttavat edeltävään PINO-asetukseen nähden eritoten polttolaitosten hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöjen raja-arvoja. Kiristyvät päästörajat vaativat joissakin tapauksissa polttoaineen vaihtamista tai savukaasujen puhdistamista. Lisäksi PIPO:n ja MCP:n muut määräykset vaativat toimenpiteitä niissä polttolaitoksissa, jotka eivät valmiiksi täytä määräyksiä. Vaadittujen muutosten selvittämiseksi polttolaitokset on käsiteltävä tapauskohtaisesti.

Tämä diplomityö on laadittu Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:lle (lyhennettynä STEP), joka on Veolian (51 %) ja Pori Energian (49 %) omistama teollisuuden energiapalveluita tuottava yritys. Diplomityön tavoite on selvittää ympäristölainsäädännössä voimaantulevien PIPO-asetuksen ja MCP-direktiivin vaikutuksia ja vaadittuja muutoksia niissä energiapalveluiden kohteissa, joissa diplomityön tilaaja toimii tällä hetkellä energiapalveluiden tuottajana. STEP toimii energiapalveluiden tuottajana teollisuusasiakkaille neljällä eri paikkakunnalla: Harjavallan Suurteollisuuspuistossa, Koskenkorvalla, Kaustisilla ja Seinäjoella. Vaadittuja muutoksia käsitellään sekä kvalitatiivisesti että kvantitatiivisesti päästöjen vähentämisen tekniikoiden ja kustannusten osalta, koska eri vaihtoehtoja on useita. Muita muutoksia käsitellään kvalitatiivisesti.

### **1.3 Työn rajausta ja rakenne**

Diplomityössä keskitytään selvittämään vain PIPO:n ja MCP:n vaatimia muutoksia. Työssä ei kuitenkaan käsitellä meluntorjunnan PIPO:n mukaisuutta. Vaadittuja muutoksia tutkitaan vain diplomityön tilaajan STEP:n kohteissa, ja vain niissä toiminnoissa, jotka ovat STEP:n vastuulla. Työssä ei käsitellä esimerkiksi STEP:n alihankkijoiden tai toimittajien toimintojen asetusten mukaisuutta. Työssä ei käsitellä lainsäädännön vaatimien ihmisten tekemien tehtävien suorittamista STEP:ssä, vaan työssä keskitytään laitteistojen ja fyysisten kokonaisuuksien asetusten mukaisuuteen. Työn taloudellisessa vaihtoehtojen vertailuissa ei oteta huomioon rahan arvon alenemista.

Diplomityö on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäinen osa on työn kirjallinen osuus, joka koostuu luvuista 2 ja 3. Luku 2 esittelee pieniin polttolaitoksiin kohdistuvia ympäristönsuojeluasetuksia, eli PINO- ja PIPO-asetusta sekä MCP-direktiiviä. Luvussa 3 puolestaan käydään läpi hiukkasten, typen oksidien ja rikkidioksidin muodostumista ja vähentämiskeinoja. Työn toinen osa on metodiikkaa ja koostuu luvuista 4 ja 5. Luvussa 4 esitellään diplomityön tilaajan STEP:n kohteet ja tarkastellaan niiden asetusten mukaisuutta. Luvussa 5 puolestaan esitellään päästörajojen saavuttamiseksi ehdotetut vaihtoehdot ja eri vaihtoehtojen investointikustannukset ja vuosittaiset muuttuvat kustannukset. Kolmas osa muodostuu lukujen 6 tuloksista ja luvun 7 johtopäätöksistä. Luvussa 6 esitellään tulosten avulla paras vaihtoehto kunkin STEP:n kohteen osalta.

## 2 Energiateollisuutta ohjaava lainsäädäntö

Energiateollisuuden ympäristönsuojeluvaatimukset pohjautuvat Suomessa ympäristönsuojelulakiin ja ympäristönsuojelulakia tarkentaviin asetuksiin. Ympäristönsuojelulakiin ja tarkentaviin asetuksiin taas vaikuttavat esimerkiksi Euroopan unionin direktiivit. Alkuperäinen ympäristönsuojelulaki 86/2000 ja alkuperäisen lain kumonnut uusi ympäristönsuojelulaki 527/2014 ovat yleislakeja, joiden tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista ja pilaantumisen vaaraa. Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttava toiminta, kuten energiantuotanto, on Suomessa luvanvaraista. Ympäristönsuojelulait antavat velvoitteita ja määräyksiä maaperän, ilman ja vesistöjen suojelemiseksi. Kaikkea ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaa toimintaa koskevien pykälien lisäksi laissa on säädetty joitakin pykäläiä, jotka koskevat vain osaa toimijoista. Esimerkiksi polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitoksille on säädetty lakiin pelkästään näitä koskevia pykäläiä. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000 2000, Ympäristönsuojelulaki 527/2014 2014).

Valtioneuvosto on laatinut ympäristönsuojelulain nojalla asetuksia, jotka tarkentavat energiantuotannon ympäristönsuojeluvaatimuksia. Polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitoksille (suuret polttolaitokset) ja alle 50 megawatin polttolaitoksille (pienet polttolaitokset) on säädetty itsenäiset asetukset, joissa määrätään kokoluokkien päästöarvot ja polttolaitoksia koskevat muut määräykset. Suuria polttolaitoksia on vuoden 2016 alusta alkaen koskenut Valtioneuvoston asetus 936/2014 (Suurten Polttolaitosten asetus, SUPO), joka perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2010/75/EU (IE, *engl. Industrial Emission Directive*). Alkuperäinen SUPO, Valtioneuvoston asetus 1017/2002, laadittiin Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2001/80/EY pohjalta (LCP, *engl. Large Combustion Plant Directive*). (Valtioneuvoston asetus 936/2014 2014, Valtioneuvoston asetus 1017/2002 2002, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU 2010, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/80/EY 2001).

Uusia pieniä (alle 50 MW polttoaineteho) polttolaitoksia on vuoden 2010 kesäkuusta asti koskenut Valtioneuvoston asetus 445/2010 (Pienten energiantuotantoyksiköiden Normi, PINO). PINO kumottiin vuoden 2013 marraskuussa Valtioneuvoston asetuksella 750/2013 (Pienten Polttolaitosten asetus, PIPO), jonka jälkeen uudet pienet polttolaitokset ovat olleet PIPO:n piirissä. Olemassa olevien pienten polttolaitosten tulee noudattaa PINO:a tai PIPO:a, jos niiden ympäristölupaan on haettu muutoksia asetusten voimassaoloaikana. Loput olemassa olevat pienet polttolaitokset siirtyvät PIPO:n piiriin viimeistään vuoden 2018 alusta. Uusin pieniä polttolaitoksia koskeva säädös on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 (MCP, *engl. Medium Combustion Plant Directive*). Olemassa olevat pienet polttolaitokset siirtyvät direktiivin pohjalta laadittavan asetuksen piiriin vuoden 2025 alusta, jos niiden polttoaineteho on yli 5 megawattia, tai vuoden 2030 alusta, jos niiden polttoaineteho on enintään 5 megawattia. (Valtioneuvoston asetus 445/2010 2010, Valtioneuvoston asetus 750/2013 2013, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 2015).

Merkittävä osa energiapalveluliiketoimintaan liittyvistä polttolaitoksista on kooltaan alle 50 megawattia polttoaineteholtaan, joten pieniä polttolaitoksia koskeva lainsäädäntö on liiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa. Tässä luvussa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin voimassa olevien PINO- ja PIPO-asetusten, sekä osaksi lainsäädäntöä tulevan MCP-direktiivin määräyksiä ja vaatimuksia.

## 2.1 Pienten energiantuotantoyksiköiden normi 2010

Valtioneuvoston vuonna 2010 antama pienten energiantuotantoyksiköiden normi (PINO) on ensimmäinen polttoaineteholtaan alle 50 megawatin polttolaitoksia koskemaan rajattu asetus. Asetus tuli voimaan 1.6.2010 ja asetuksen piirissä ovat PINO-asetuksen voimaantulon jälkeen, ennen pienten polttolaitosten asetuksen (PIPO) voimaantuloa, rakennetut uudet polttolaitokset, sekä ne olemassa olevat polttolaitokset, joiden ympäristölupaa muutettiin tuona aikavälinä. Asetus koskee polttolaitoksia, joiden polttoaineteho on vähintään 5, mutta alle 50 megawattia, sekä sellaisia polttolaitoksia, joiden polttoaineteho on vähintään 1, mutta alle 5 megawattia, jos polttolaitoksia sijaitsee samalla laitosalueella useita ja niiden yhteenlaskettu polttoaineteho ylittää 5 megawattia. Asetus ei kuitenkaan koske esimerkiksi jätteenpolttolaitoksia, savukaasuja polttamalla puhdistavia laitoksia, tai palamistuotteita suoraan lämmitykseen tai kuivaukseen käyttäviä laitoksia.

Asetus sisältää vaatimuksen polttolaitoksen rekisteröinti-ilmoituksen sisällöstä, uusien ja olemassa olevien polttolaitosten päästöraja-arvot, sekä määräksiä savupiippujen minimikorkeuksista; meluntorjunnasta; jätevesien käsittelystä; polttoaineiden käsittelystä ja varastoinnista; jätahuollosta; laitoksen toiminnan, päästöjen ja ympäristövaikutusten tarkkailusta; kirjanpidosta; tietojen ilmoittamisesta; sekä poikkeustilanteissa toimimisesta. PINO-asetuksen päästöraja-arvot olemassa oleville kattiloille on esitetty taulukossa 1. Taulukossa näkyvät peruskuormakattiloiden ja vara- ja huippukuormakattiloiden päästörajat. Vara- ja huippukuormakattiloita ovat kattilat, joiden käyntiaika vuodessa on enintään 1500 tuntia viiden vuoden liukuvana keskiarvona.

*Taulukko 1. Olemassa olevien polttoaineteholtaan 1–50 MW:n kattiloiden päästöraja-arvot PINO-asetuksessa (vara- ja huippukuormakattiloiden päästöraja-arvot sulhiissa). (Valtioneuvoston asetus 445/2010 2010).*

Kattilan polttoaineteho	Hiukkaset mg/m <sup>3</sup> n	NO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> n	SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> n
<b>Öljy<sup>1,2</sup></b>	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3 %
1≤P≤5 MW	140 (200)		850
5<P≤50 MW	50 (140)		850
1≤P≤15 MW		900	850
15<P≤50 MW		600	850
<b>Kaasumaiset polttoaineet</b>		O <sub>2</sub> = 3 %	
1≤P≤15 MW		400	
15<P≤50 MW		300	
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet<sup>3</sup></b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P≤5 MW	300(375)	450 (500)	200
5<P≤10 MW	150 (250)	450 (500)	200
10<P≤50 MW	50 (125)	450 (500)	200
<b>Turve</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P≤5 MW	300(375)	600 (625)	500
5<P≤10 MW	150 (250)	600 (625)	500
10<P≤50 MW	50 (125)	600 (625)	500
<b>Hiili</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P≤50 MW	50 (140)	420 (550)	1100

<sup>1</sup> kevyelle polttoöljylle hiukkaspäästöraja-arvo on 50 mg/m<sup>3</sup>n (O<sub>2</sub>= 3 %) kokoluokasta ja laitoksen käyntiajasta riippumatta

<sup>2</sup> raskaalle polttoöljylle rikkipitoisuuspäästöraja-arvo on 1700 mg/m<sup>3</sup>n (O<sub>2</sub>=3 %) 1.1.2018 saakka

<sup>3</sup> ruokohelmi, olki, pelletit yms.

Jos useamman kattilan savukaasut johdetaan yhteiseen savuhormiin, määräytyvät päästöjen raja-arvot kattiloiden yhteenlasketusta polttoainetehosta. Monipolttoainekattilan päästöjen raja-arvot määräytyvät yhtälön (1) mukaisesti:

$$L_{mix} = \frac{\sum_i L_i q_{net,m}^i \dot{m}_i}{\sum_i q_{net,m}^i \dot{m}_i} \quad (1)$$

missä  $L_i$  on polttoaineen  $i$  päästöraja-arvo [mg/Nm<sup>3</sup>]  
 $q_{net,m}^i$  polttoaineen  $i$  tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]  
 $\dot{m}_i$  on polttoaineen  $i$  massavirta [kg/s].

PINO-asetuksen mukaiset savupiipun minimikorkeudet on esitetty taulukossa 2. Jos useamman kattilan savukaasut johdetaan yhteiseen savuhormiin, määräytyy piipun mitoitus kattiloiden yhteenlasketusta polttoainetehosta. Taulukossa esitettyjen rajojen lisäksi mitoitusehtoina on, että piipun korkeuden on oltava vähintään 2,5 kertaa tuotantorakennuksen tai muun lähimmän esteen korkeus, tai piippu on mitoitettava leviämismallilaskelman tai muun luotettavan menetelmän, kuten polttoainekohtaisen savupiippunomogrammin avulla.

Jos alle 500 metrin etäisyydellä piipusta on yli 30 metriä korkeita rakennuksia tai muita maastoesteitä, tai maa kohooa tuotantolaitoksen viereiseen maahan verrattuna yli 30 metriä, on uusi piippu mitoitettava joka tapauksessa leviämismallilaskelmalla. Piipun mitoituksessa on otettava myös huomioon, että savupiipusta lähtevät päästöt eivät saa aiheuttaa yli 20 % ilmanlaadun vuorokausittaisista ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista, jotka on annettu valtioneuvoston päätöksessä (480/1996). Asetuksessa on määrätty savukaasuille minimivirtausnopeudeksi 5 m/s.

PINO:ssa käsketään, että energiantuotantolaitoksen toiminta ja toiminnot on suunniteltava ja sijoitettava meluhaittaa ehkäisevästi. Melupäästöjä on vähennettävä parhaan käytökel-pöisen tekniikan (BAT, engl. *Best Available Technology*) avulla ja melun leviämistä on ehkäistävä rakennusteknisesti ja toiminnan sijoittamisella. Asetuksessa on säädetty melurajat päivä- ja yöajoille laitosalueella ja laitoksen ulkopuolisilla virkistysalueilla.

Asetuksessa määrätään savukaasupesurin ja savukaasujen lauhdutuksen jätevesien, täys-suolanpoiston elvytysvesien, nuohousvesien, peittausvesien, öljyisien jätevesien, kiinteis-tön jätevesien ja hulevesien käsittely- ja johtamistavat. Lisäksi vesistöille vaarallisten ai-neiden ja valtioneuvoston asetuksen (1022/2006) liitteessä I lueteltujen haitallisten ainei-den pääsy pohjavesiin, vesistöihin tai viemäriin on asetuksen mukaan estettävä.

*Taulukko 2. Savupiipuille määrätty minimikorkeudet PINO-asetuksessa. (Valtioneuvoston asetus 445/2010 2010).*

Polttoaine	Kattiloiden polttoaineteho (P)	Savupiipun korkeus maanpinnasta
Maakaasu, kevyt polttoöljy	$0 \leq P \leq 20$ MW	10 m
	$20 < P < 50$ MW	40 m
Raskas polttoöljy	$5 \leq P < 50$ MW	40 m
Kiinteät polttoaineet	$5 \leq P \leq 20$ MW	30 m
	$20 < P < 50$ MW	40 m

Kiinteiden polttoaineiden käsittelystä ja varastoisesta säädetään, että käsittely tai varastointi ei saa aiheuttaa palovaaraa eikä haju-, pölyämis- tai roskaantumishaittaa. Hienojakoisten polttoaineiden vastaanoton on sijaittava suljetussa hallissa tai vastaavanlaisessa tilassa. Nestemäisten polttoaineiden varastoinnista on säädetty varastointiin käytettävät säiliötyypit ja säiliöihin vaaditut lisävarusteet, suoja-altaiden tilavuus, ja polttonesteiden talteenottoa varten tarvittavat varusteet. Neste- ja kaasumaisten polttoaineiden varastoalueet kuuluvat räjähdysvaarallisiin tiloihin, joten niitä koskee lisäksi muun muassa ATEX-lainsäädäntö (ATEX, *ransk. Atmosphères Explosibles*). Jätehuolto pitää asetuksen mukaan suorittaa jätelain (1072/1993) ja jätelain pohjalta laadittujen säädösten mukaisesti, ottaen huomioon tiettyjä asetuksessa listattuja asioita.

Lopuksi PINO-asetuksessa määrätään toiminnasta poikkeustilanteissa, laitoksen toiminnan, päästöjen ja päästövaikutusten tarkkailusta, kirjanpidosta, ja tietojen ilmoittamisesta. Uusien polttolaitosten ja peruskuormayksiköiden palamisolosuhteita on seurattava jatkuvatoimisilla happi- ja lämpötilamittauksilla, uusien kiinteiden polttoaineiden ja raskaan polttoöljyn kattiloiden hiukkaspäästöjä on seurattava jatkuvatoimisilla pöly- tai opasiteettimittauksilla, ja yli 5 megawatin kiinteiden polttoaineiden kattiloiden hiilimonoksidipäästöjä on mitattava jatkuvatoimisilla häkämittauksilla. (Valtioneuvoston asetus 445/2010 2010).

## 2.2 Pienten polttolaitosten asetus 2013

Vuonna 2013 Valtioneuvosto antoi pienten polttolaitosten asetuksen (PIPO), joka kumosi vuoden 2010 PINO-asetuksen voimaantullessaan 1.11.2013. PIPO-asetuksen soveltamisala on vastaava kuin PINO:ssa, mutta siinä on tarkennettu, että asetus ei koske tutkimus- ja kehitysyksiköitä tai lyhytaikaista koeluontoista toimintaa. PIPO on koskenut uusia polttolaitoksia välittömästi voimaantultuaan 1.11.2013. Olemassa olevien polttolaitosten on noudatettava asetusta viimeistään 1.1.2018 lähtien, joten asetuksen määräykset ovat keskeisiä energiapalveluliiketoiminnassa käytettävien laitosten osalta.

PIPO:n merkittävimmät muutokset PINO-asetukseen nähden ovat tiukemmat päästöraja-arvot, muutokset savupiipun korkeuden määrittämisperiaatteissa, sekä kannanotto uusien nestemäisten polttoaineiden, kuten energiantuotannossa käytettävien nestemäisten biomassasta valmistettujen polttoaineiden (bionesteiden), päästö-rajoihin. Lisäksi PIPO:ssa on tarkennettu muun muassa jätevesien käsittelyä, nestemäisten polttoaineiden käsittelyä ja varastointia, jätehuoltoa, poikkeustilanteissa toimimista, kirjanpitoa, sekä päästöjen tarkkailua koskevia pykälä.

PIPO-asetuksessa määrätty päästöraja-arvot olemassa oleville polttolaitoksille on esitetty taulukossa 3. Vara- ja huippukuormakattilat, useammasta kattilasta koostuvien polttolaitosten päästöjen raja-arvot sekä monipolttoainekattilan päästöjen raja-arvot määritellään samalla tavoin kuin PINO:ssa. PIPO-asetuksessa on kuitenkin määritelty hätäkäyttöyksiköille omat korkeammat päästöjen raja-arvot, jotka eivät näy taulukossa 3. Hätäkäyttöyksiköillä tarkoitetaan varavoimayksiköitä, joita käytetään hätätarkoituksessa ja joiden käyntiaika on enintään 500 tuntia vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona.

Päästörajat tulevat voimaan asetuksen voimaantullessa 1.1.2018. Muita nestemäistä polttoaineita kuin raskasta polttoöljyä (HFO, *engl. Heavy Fuel Oil*), kevyttä polttoöljyä (LFO, *engl. Light Fuel Oil*) tai kaasuöljyä käyttävien polttolaitosten on noudatettava PIPO:n raja-arvoja 1.1.2020 lähtien. Näihin muihin nestemäisiin polttoaineisiin kuuluvat muun muassa biomassasta valmistettavat bionesteet, kuten pyrolyysiöljy.

*Taulukko 3. Olemassa olevien polttoaineteholtaan 1–50 MW:n kattiloiden päästöraja-arvot PIPO-asetuksessa (vara- ja huippukuormakattiloiden päästöraja-arvot suhuissa). (Valtioneuvoston asetus 750/2013 2013).*

Kattilan polttoaineteho (P)	Hiukkaset mg/m <sup>3</sup> n	NOx (laskettuna NO <sub>2</sub> ) mg/m <sup>3</sup> n	SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> n
<b>Nestemäiset polttoaineet<sup>1</sup></b>	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3 %
1≤P≤15 MW	140 (200) <sup>2</sup>	900	350 (850) <sup>3</sup>
15<P<50 MW	50 (140) <sup>2</sup>	600	350 (850) <sup>3</sup>
<b>Kaasumaiset polttoaineet</b>		O <sub>2</sub> = 3 %	
1≤P≤15 MW		400	
15<P<50 MW		300	
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet<sup>4</sup></b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P≤5 MW	300 (375)	450 (500)	200
5<P≤10 MW	150 (250)	450 (500)	200
10<P<50 MW	50 (125)	450 (500)	200
<b>Turve</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P≤ 5 MW	300 (375)	600 (625)	500
5<P≤10 MW	150 (250)	600 (625)	500
10<P<50 MW	50 (125)	600 (625)	500
<b>Hiili</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1≤P<50 MW	50 (140)	420 (550)	1100

<sup>1</sup> Muihin kuin raskaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn rikkipitoisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (689/2006) 2 §:n 1 momentin 1 ja 2 kohdassa tarkoitettuihin nestemäisiin polttoaineisiin sovelletaan liitteen 1 taulukon 2 päästöraja-arvoja 1 päivästä tammikuuta 2020.

<sup>2</sup> Kevyen polttoöljyn hiukkaspäästöraja-arvo on 50 mg/m<sup>3</sup>n kokoluokasta ja laitoksen käyntiajasta riippumatta.

<sup>3</sup> Rikkidioksidipäästöraja-arvoa sovelletaan 1 päivästä tammikuuta 2018, johon saakka päästöraja-arvona on 1700 mg/m<sup>3</sup>(n).

<sup>4</sup> Ruokohelpi, olki, pelletit yms.

Taulukoita 1 ja 3 vertailemalla voidaan nähdä, että PIPO:n päästörajat ovat muuttuneet PINO-asetukseen nähden raskaan polttoöljyn ja kaasuöljyjen rikkidioksidiraja-arvojen osalta. Raja-arvot ovat kiristyneet aikaisemmasta 1700 mg/Nm<sup>3</sup> (HFO) tai 850 mg/Nm<sup>3</sup> (kaasuöljyt) raja-arvoista uuteen 350 mg/Nm<sup>3</sup> raja-arvoon. Kevyen polttoöljyn rikkidioksidin päästöraja-arvo on pysynyt PINO:a vastaavana, 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

Savupiippujen korkeuksia säättävä pykälä on PIPO-aseuksessa selkeämpi verrattuna PINO-asetukseen. Savupiippujen mitoitus tapahtuu PIPO:n mukaan taulukon 4 osoittamalla tavalla, tai leviämismallilaskelman tai polttoainekohtaisen pienten polttolaitosten piipun korkeuden määrittämismenetelmän, savupiippunomogrammin, perusteella. Taulukko 4 on PINO:n pohjalta laadittuun taulukkoon 2 nähden yksityiskohtaisempi käytettävän polttoaineen ja polttoainetehon osalta. Olemassa olevien polttolaitosten piiput ovat kuitenkin riittävän korkeita, jos niiden korkeudet ovat vähintään 75 prosenttia taulukon 4 piippujen korkeuksista. Uusien energiantuotantolaitosten piippujen on oltava lisäksi vähintään 2,5 kertaa tuotantorakennuksen korkuisia.

*Taulukko 4. Savupiipuille määrätty minimikorkeudet PIPO-asetuksessa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013 2013).*

<b>Polttoaine</b>	<b>Kattiloiden polttoaineteho (P)</b>	<b>Savupiipun korkeus maanpinnasta</b>
Kaasumaiset polttoaineet, moottoripolttoöljy ja kevyt polttoöljy sekä puupelletit	$1 \leq P \leq 5 \text{ MW}$	10 m
	$5 < P \leq 20 \text{ MW}$	20 m
	$20 < P < 50 \text{ MW}$	30 m
Raskas polttoöljy, rikki- ja pitoisuus enintään 0,5%	$1 \leq P \leq 5 \text{ MW}$	20 m
	$5 < P \leq 20 \text{ MW}$	30 m
	$20 < P < 50 \text{ MW}$	40 m
Raskas polttoöljy, rikki- ja pitoisuus enintään 1%	$1 \leq P \leq 5 \text{ MW}$	30 m
	$5 < P \leq 20 \text{ MW}$	50 m
	$20 < P < 50 \text{ MW}$	60 m
Kiinteät polttoaineet	$1 \leq P \leq 5 \text{ MW}$	20 m
	$5 < P \leq 20 \text{ MW}$	30 m
	$20 < P < 50 \text{ MW}$	40 m

Kuten PINO-astuksessa, myös PIPO:ssa todetaan, että uusi savupiippu on aina mitoitettava leviämismallilaskelmalla, jos alle 500 metrin päässä polttolaitoksesta on yli 30 metriä korkea rakennus tai maastoeste, tai jos maa kohoaa yli 30 metriä polttolaitosta ympäröivää maata korkeammalle. Piipun mitoituksessa on myös huomioitava, että polttolaitoksen savupiipun päästöt eivät saa aiheuttaa yli 20 % ilmanlaadun vuorokausittaisista ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista, jotka on annettu valtioneuvoston päätöksessä (480/1996). Lisäksi piipun korkeus ja savukaasujen virtausnopeus on mitoitettava niin, että normaaleissa käyttöolosuhteissa ei muodostu savupainamaa.

PIPO-asetuksen muut pykälät ovat lähes täysin PINO:a vastaavia, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Esimerkiksi nestemäisten polttoaineiden käsittely- ja varastointimääräyksiin lisätty momentti määrää, että käsittely- ja varastointialueiden on oltava nestettä läpäisemättömiä ja reunoiltaan korotettuja. (Valtioneuvoston asetus 750/2013 2013).

## 2.3 Medium combustion plant -direktiivi 2015

Euroopan parlamentin ja Euroopan unionin neuvoston vuoden 2015 marraskuussa antama Medium combustion plant -direktiivi (MCP, engl. *Medium Combustion Plant Directive*) on pienten ja keskisuurien polttolaitosten päästöjä rajaava direktiivi, joka on osa Euroopan unionin julkaisemaa puhtaan ilman pakettia. Puhtaan ilman paketin päätavoitteena on vähentää EU:n ilmansaasteita ja näistä aiheutuvia terveys- ja ympäristöhaittoja. MCP-direktiivin lisäksi puhtaan ilman pakettiin kuuluvat nykyisellään kansalliset päästöraajat, sekä happamoitumisen, rehevöitymisen ja alailmakehän otsonin vähentämiseen tähtäävä Göteborgin pöytäkirja. (Eurooppa-neuvosto 2016).

MCP-direktiivi on ensimmäinen Euroopan unionin direktiivi, joka asettaa päästöraajat keskisuurille polttolaitoksille. Euroopan unionin jäsenvaltioiden on saatettava direktiivi osaksi lainsäädäntöään viimeistään 19.12.2017. Direktiiviä sovelletaan yhdestä tai useammasta samaan savupiippuun savukaasunsa johtavista kattiloista koostuviin polttolaitoksiin, joiden yhteenlaskettu polttoaineteho on vähintään 1 megawatti, mutta alle 50 megawattia. Direktiiviä sovelletaan myös sellaisiin yhteenlasketulta polttoaineteholtaan vähintään 50 megawattia oleviin useamman kattilan polttolaitoksiin, jotka eivät ole LCP-direktiivin piirissä.



*Taulukko 5. Olemassa olevien polttoaineteholtaan 1–50 MW:n kattiloiden päästöraja-arvot (mg/Nm<sup>3</sup>) PIPO-asetuksessa ja MCP-direktiivissä.*

	PIPO Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	MCP Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	PIPO NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	MCP NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	PIPO SO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	MCP SO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]
<b>Nestemäiset O<sub>2</sub>=3 %</b>						
Kevyt polttoöljy						
• 1–15 MW	50	-	900	200	350	-
• 15–50 MW	50	-	600	200	350	-
Muut nestem.						
• 1–5 MW	140	50	900	650	350	350
• 5–15 MW	140	30	900	650	350	350 <sup>(1)</sup>
• 15–50 MW	50	30	600	650	350	350 <sup>(1)</sup>
<b>Kaasumaiset O<sub>2</sub>=3 %</b>						
Maakaasu						
• 1–5 MW	-	-	400	250	-	-
• 5–15 MW	-	-	400	200	-	-
• 15–50 MW	-	-	300	200	-	-
Muut kaasum.						
• 1–5 MW	-	-	400	250	-	200 <sup>(2)</sup>
• 5–15 MW	-	-	400	250	-	35 <sup>(3)</sup>
• 15–50 MW	-	-	300	250	-	35 <sup>(3)</sup>
<b>Kiinteät O<sub>2</sub>=6 %</b>						
Biomassa						
• 1–5 MW	300	50	450	650	200	200 <sup>(5)</sup>
• 5–15 MW	150	30 <sup>(4)</sup>	450	650	200	200 <sup>(5)</sup>
• 15–50 MW	50	30 <sup>(4)</sup>	450	650	200	200 <sup>(5)</sup>
Turve						
• 1–5 MW	300	50	600	650	500	1100
• 5–15 MW	150	30 <sup>(4)</sup>	600	650	500	400 <sup>(6)</sup>
• 15–50 MW	50	30 <sup>(4)</sup>	600	650	500	400 <sup>(6)</sup>
Hiili						
• 1–5 MW	50	50	420	650	1100	1100
• 5–50 MW	50	30 <sup>(4)</sup>	420	650	1100	400 <sup>(6)</sup>

(1) Laitoksiin, joiden polttoaineteho on yli 5 MW ja enintään 20 MW ja jotka käyttävät raskasta polttoöljyä, sovelletaan 1.1.2030 saakka arvoa 850 mg/Nm<sup>3</sup>.

(2) Rauta- ja terästeollisuudessa lämpöarvoltaan vähäisiin koksuiunissa tuotettuihin kaasuihin sovelletaan arvoa 400 mg/Nm<sup>3</sup>.

(3) Biokaasuun sovelletaan arvoa 170 mg/Nm<sup>3</sup>. Rauta- ja terästeollisuudessa lämpöarvoltaan vähäisiin koksuiunissa tuotettuihin kaasuihin sovelletaan arvoa 400 mg/Nm<sup>3</sup> ja lämpöarvoltaan vähäisiin masuunissa tuotettuihin kaasuihin arvoa 200 mg/Nm<sup>3</sup>.

(4) Laitoksiin, joiden polttoaineteho on yli 5 MW ja enintään 20 MW, sovelletaan arvoa 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

(5) Yksinomaan puumaista kiinteää biomassaa käyttäviin laitoksiin sovelletaan arvoa 1 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Olkea käyttäviin laitoksiin sovelletaan arvoa 300 mg/Nm<sup>3</sup>.

(6) Laitoksiin, joiden polttoaineteho on yli 5 MW ja enintään 20 MW, sovelletaan arvoa 1 100 mg/Nm<sup>3</sup>.

MCP-direktiivi sisältää määräykset keskisuurien polttolaitosten lupa- ja rekisteröintimenetelystä, päästöjen raja-arvoista, sekä päästöjen valvomisesta ja raportoinnista. Direktiivin mukaan kaikkien yli 5 megawatin kattiloiden toiminta vaatii 1.1.2024 alkaen luvan tai rekisteröinnin, ja 1–5 megawatin kattiloiden toiminta vaatii 1.1.2029 alkaen luvan tai rekisteröinnin. PIPO-asetuksen mukaan luvan tai rekisteröinnin ovat vaatineet kaikki vähintään 5 megawatin kattilat, sekä ne 1–5 megawatin kattilat, joita on useita samalla laitosalueella ja joiden yhteenlaskettu polttoaineteho on vähintään 5 megawattia.

MCP-direktiivin määräämät olemassa olevien polttolaitosten päästöraja-arvot verrattuna PIPO:n määräämiin päästöraja-arvoihin on esitetty taulukossa 5. Monipolttoainekattiloiden päästörajat lasketaan MCP:n päästörajojen osalta samalla tavalla kuin PIPO-asetuksessa. Taulukosta havaitaan, että MCP laskee lähinnä hiukkas- ja typenoksidipäästörajoja PIPO-asetukseen nähden. MCP-direktiivin määräämät päästöjen raja-arvot tulevat pääsääntöisesti voimaan olemassa oleville yli 5 megawatin kattiloille 1.1.2025 alkaen, ja enintään 5 megawatin kattiloille 1.1.2030 alkaen. Pieneen tai erittäin pieneen erilliseen verkkoon kuuluvien kattiloiden on kattilan koosta riippumatta noudatettava raja-arvoja vasta 1.1.2030 alkaen. Uusia kattiloita koskevat päästöjen raja-arvot tulevat voimaan 20.12.2018 alkaen.

Direktiivin mukaan jäsenvaltiot voivat vapauttaa enintään 500 tuntia vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona toimivat olemassa olevat kattilat direktiivin määräämistä päästöjen raja-arvoista, mutta tässäkin tapauksessa kattiloiden on alitettava 200 mg/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöjen raja-arvo. Vastaavasti jäsenvaltiot voivat vapauttaa enintään 500 tuntia kolmen vuoden liukuvana keskiarvona toimivat uudet kattilat päästörajoista, mutta uusien kattiloiden on alitettava 100 mg/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöjen raja-arvo.

Jäsenvaltiot voivat myös vapauttaa päästöjen raja-arvoista 1.1.2030 saakka polttoaineteholtaan yli 5 megawatin kattilat, jotka tuottavat vähintään 50 prosenttia hyötylämmöstä julkiseen kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpökattiloiden on tällöinkin alitettava 1100 mg/Nm<sup>3</sup> rikkidioksidin raja-arvo sekä 150 mg/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöjen raja-arvo. Lopuksi, jäsenvaltiot voivat vapauttaa pääasiallisena polttoaineenaan kiinteää biomassaa polttavat kattilat hiukkaspäästöjen raja-arvoista 1.1.2030 saakka, mutta biomassaa polttavien kattiloiden on kuitenkin alitettava 150 mg/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöjen raja-arvo. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 2015).

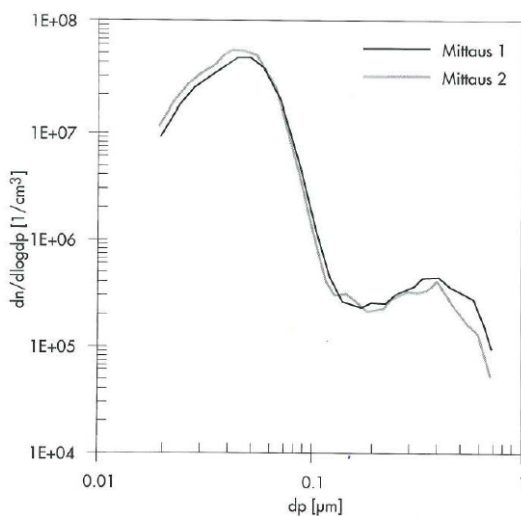
### 3 Savukaasupäästöt

Palamisprosessissa muodostuva savukaasu on palamisprosessissa poltettavan polttoaineen ja palamisilman reaktiotuotteiden sekä palamiseen osallistumattomien ainesosien seos. Polttoaineet muodostuvat pääosin viidestä alkuaineesta: hiilestä (C), vedystä ( $H_2$ ), hapesta ( $O_2$ ), typestä ( $N_2$ ) ja rikistä (S). Palamisilma taas koostuu suurimmaksi osaksi typestä (noin 79 %) ja hapesta (noin 21 %). Savukaasu muodostuu reaktiotuotteista ja reagoimattomista yhdisteistä, joten tyypillinen savukaasu koostuu hiilidioksidista ( $CO_2$ ), hiilimonoksidista (CO), vesihöyrystä ( $H_2O$ ), typen oksideista ( $NO_x$ ), rikin oksideista ( $SO_x$ ), reagoimattomasta hapesta ja typestä, sekä pienistä määristä muita yhdisteitä.

Savukaasun merkittävimmät päästökomponentit ovat ilmaston lämpenemistä kiihdyttävä hiilidioksidi, suurina määrinä tukehtumista aiheuttava hiilimonoksidi, rehevöitymistä ja happamoitumista aiheuttavat typen oksidit, happamoitumista aiheuttavat rikin oksidit, sekä negatiivisia terveysvaikutuksia aiheuttavat hiukkaset. Energiapalveluliiketoiminnan kannalta mielenkiintoisimpia ovat typen ja rikin oksidit ja hiukkaset, sillä niille on asetettu lainsäädännössä päästörajoja ja niiden vähentämiseksi ja puhdistamiseksi on olemassa toimivaksi todettuja tekniikoita ja teknologioita. Tässä luvussa käsitellään typen ja rikin oksidipäästöjen ja hiukkaspäästöjen muodostumista ja vähentämistapoja.

#### 3.1 Hiukkaspäästöt

Polttoprosessin tuotteena syntyvä savukaasu ja savukaasun mukana liikkuvat höyryt ja hiukkaset muodostavat polton palamisaerosolin. Aerosolin sisältämistä kiinteistä ja neste-mäisistä hiukkasista käytetään yleisesti nimeä aerosolihiukkaset (PM, *engl. Particulate Matter*). Aerosolihiukkaset ovat savukaasumolekyylejä suurempia, kooltaan, ulkomuodoltaan ja koostumukseltaan vaihtelevia hiukkasia, jotka tarttuvat kiinni pintoihin niihin törmätessään. Aerosolihiukkaset ovat niin sanottuja primäärihiukkasia, mutta typen ja rikin oksidit voivat lisäksi muodostaa ilmakehässä sekundäärihiukkasia (Ohlström 1998, 34). Hiukkaset voidaan luokitella muun muassa niiden koon, pitoisuuden, muodostumismekanismien ja koostumuksen mukaan. Kuvassa 1 on esitetty kivihiilen pölypolttokattilan lentotuhkahiukkasten lukumääräkokojakauma. (Raiko et al. 2002, 233-235).



Kuva 1. Kivihiilen pölypolttokattilan lentotuhkahiukkasten lukumääräkokojakauma. (Raiko et al. 2002).

Hiukkaskoko on tärkeä luokitteluperiaate, sillä hiukkaspäästöjen puhdistusmenetelmien tehokkuus ja hiukkasten aiheuttamat terveysvaikutukset riippuvat hiukkaskoosta. Hiukkaskoko vaihtelee muutamasta nanometristä noin sataan mikrometriin. Karkeiden hiukkasten puhdistus savukaasuista on pienhiukkasten puhdistusta helpompaa karkeiden hiukkasten suurempien hitausvoimien ansiosta. Yli 10 mikrometrin karkeat hiukkaset jäävät pääosin ylähengitysteiden limakalvoille, kun taas hengitettävät hiukkaset ovat halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin kokoisia (PM10). Erityisen vaarallisia terveydelle ovat pienhiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin kokoisia (PM2,5), sillä ne pääsevät tunkeutumaan keuhkorakkuloiden läpi ihmisen verenkiertoon. Pienhiukkaset ovat usein myös kemialliselta koostumukseltaan suurempia hiukkasia haitallisempia, sillä ne sisältävät epäorgaanisia aineita, kuten raskasmetalleja. (Ohlström 1998, 12-17).

### 3.1.1 Muodostuminen

Halkaisijaltaan yli 1 mikrometrin aerosolihiukkaset ovat höyrystymättömiä mineraalihiukkasia, palamattomia polttoainehiukkasia (halkaisijaltaan yleensä yli 5 µm) ja sorbenttihiukkasia (halkaisijaltaan yleensä 10–30 µm). Höyrystymättömät mineraalihiukkaset ja palamattomat polttoainehiukkaset ovat polttoaineesta savukaasujen mukana kulkeutuneita hiukkasia, jotka eivät ole höyrystyneet tai ehtineet palaa täydellisesti tulipesässä. Mineraalit ovat polttoaineen sisältämiä epäorgaanisia alkuaineita, jotka eivät pala polttoaineen orgaanisen aineen tapaan, mutta jotka höyrystyvät korkeissa lämpötiloissa. Usein mineraaleihin viitaten puhutaan polttoaineen sisältämästä tuhkasta. Sorbenttihiukkaset taas ovat lähtöisin typen ja rikin erottamiseksi kattilaan ruiskutettavista sorbenteista, kuten ammoniakista, ureasta ja kalkista. (Raiko et al. 2002, 234).

Halkaisijaltaan alle 1 µm aerosolihiukkaset koostuvat höyrystyneistä mineraaleista tiivistyneistä hiukkasista ja noesta. Polttoaineen sisältämät mineraalit höyrystyvät kattilassa erityisesti säteilylämmönsiirron dominoivalla alueella korkeissa lämpötiloissa. Erilaisia mineraaleja ovat metallioksidit, -kloridit, -karbonaatit, -sulfaatit, silikaatit ja vanadaatit (Raiko et al. 2002, 274). Höyrystyneet mineraalit kulkeutuvat savukaasujen mukana kattilan konvektio-osaan, jossa lämpötilan lasku aiheuttaa ylikyllästyneen höyryn homogeenistä nukleaatiota, jolloin höyrymolekyyliympäleet tiivistyvät. Lisäksi osa höyryistä tiivistyy heterogeenisesti olemassa olevien hiukkasten pinnoille. (Raiko et al. 2002, 241-243).

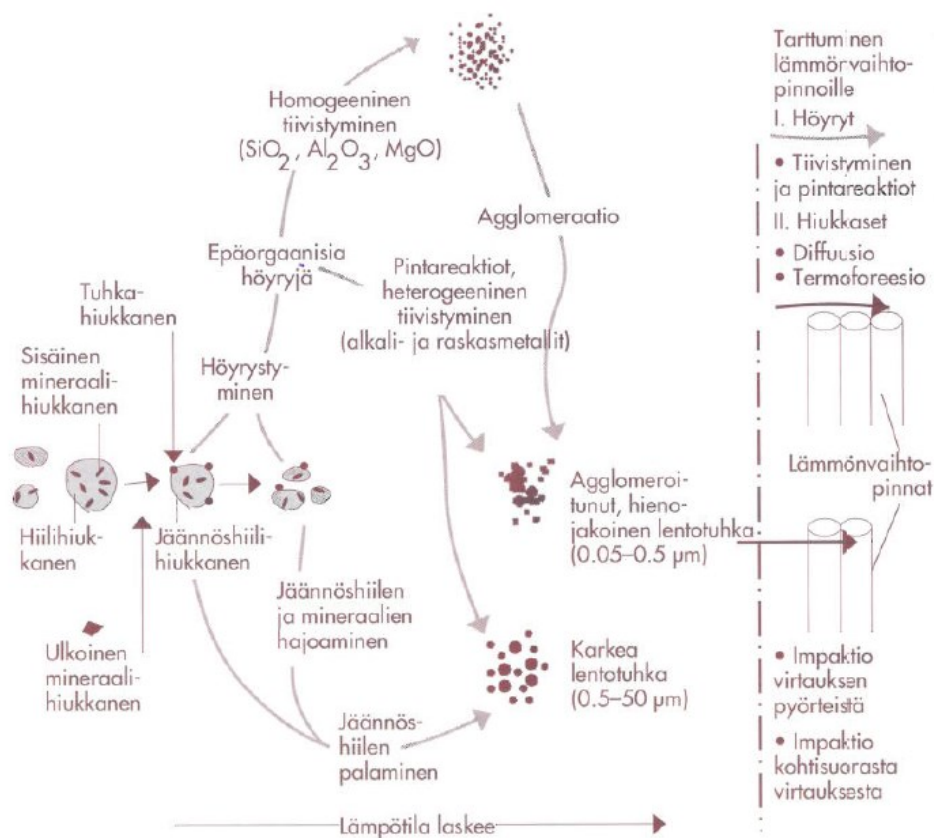
Pienet aerosolihiukkaset muodostuvat homo- ja heterogeenisen tiivistymisen, sekä koagulaation ja agglomeraation vaikutuksesta. Koagulaatio tarkoittaa kahden hiukkasen sulautumista yhdeksi pallomaiseksi hiukkaseksi törmäyksen kautta, ja agglomeraatio hiukkasten tarttumista yhteen törmäyksessä. Lopullinen tiivistyneistä höyryistä muodostunut pienhiukkanen on rakenteeltaan ketjumainen. Nokihiukkaset syntyvät polttoaineesta vapautuneiden hiilivetyjen epätäydellisen palamisen johdosta. Myös nokihiukkaset ovat rakenteiltaan alkeishiukkasista muodostuvia ketjuja. Hiukkasten muodostuminen kivihiilen polypoltossa on esitetty kuvassa 2. (Raiko et al. 2002, 233-234, 243-244).

Polttoprosessissa muodostuvien hiukkasten kokoon ja tyyppiin vaikuttavat polttoprosessin tyyppi, joka määrää polttoaineen palamisen täydellisyyden, sekä polttoaineen koostumus, joka vaikuttaa mineraaleista syntyvien hiukkasten määrään. Puhtaasti kaasumaisia polttoaineita, kuten maakaasua ja nestekaasua poltettaessa primäärihiukkaspäästöt ovat häviävän pieniä, joten esimerkiksi kaasuturbiinien hiukkaspäästöjä ei ole tarpeen käsitellä. Nestemäisiä ja kiinteitä polttoaineita polttavat polttolaitteet on syytä käsitellä erikseen polttotavan ja polttoaineiden eroavuuksien vuoksi.

## Pölypolttokattilat

Pölypoltossa muodostuvat hiukkaset ovat pääosin höyrystä tiivistyneitä hiukkasia kivihiiltä ja turvetta poltettaessa (kuva 2). Pölypoltossa polttoaineet jauhetaan pieneen palakokoon, polttoaineet sisältävät suhteellisen suuria määriä epäorgaanisia aineita, ja kattilan lämpötila on muihin polttotekniikoihin nähden korkea, 1500–1700 °C. Kaikki edellä mainitut tekijät lisäävät höyrystyvien mineraalien ja tätä kautta höyrystä tiivistyneiden hiukkasten määrää. Kivihiiltä poltettaessa kiintoainepitoisuus ennen puhdistuslaitteita on noin 10–15 g/Nm<sup>3</sup> ja palamattomien hiukkasten osuus on yleensä alle 5 % kaikista hiukkasista, kun taas turvetta poltettaessa kiintoainepitoisuus on noin 5–10 g/Nm<sup>3</sup> ja palamattomien osuus alle 10 %. (Ohlström 1998, 22-25, Lammi, Lehtonen & Timonen 1993).

Puupelletistä jauhettua pölyä poltettaessa epäorgaanisista aineista muodostuvien hiukkasten määrä suhteessa palamattomiin hiukkasiin laskee, koska puu sisältää kivihiiltä ja turvetta vähemmän epäorgaanisia aineita. Puupölyn polton hiukkaspäästöjä ei suuressa kokoluokassa ole juuri tutkittu, mutta puun leijupetipoltosta aiheutuvaa 2–6 g/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöä voidaan käyttää apuna päästö määrän arvioinnissa (Lammi, Lehtonen & Timonen 1993). Pellettejä poltettaessa syntyy vähemmän hiukkaspäästöjä kuin normaalin hakkeen poltosta, joten pelletin pölypolton päästöiksi voidaan arvioida alle 3 g/Nm<sup>3</sup> (Pöyry Management Consulting Oy 2010, Frey 2014).



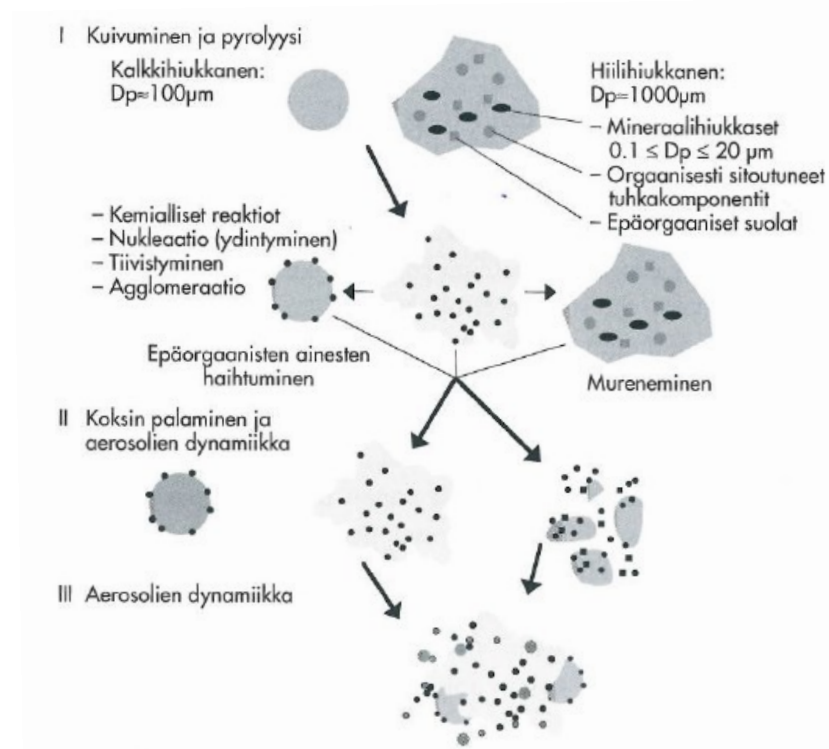
Kuva 2. Hiukkasten muodostuminen kivihiilen pölypoltossa. (Raiko et al. 2002).

## Leijukerroskattilat

Leijukerroskattiloissa, kupliva leijupetikattila (BFB, engl. *Bubbling Fluidized Bed*) ja kiertopetikattila (CFB, engl. *Circulating Fluidized Bed*), palamislämpötila on alhaisempi (noin 700–900 °C), petimateriaali rajoittaa säteilylämmönsiirtoa, ja polttoainepalat ovat suurempia kuin pölypoltossa. Leijukerroskattilassa höyrystä tiivistyneiden pienhiukkasten määrä on näin ollen pienempi kuin pölypoltossa alhaisemman lämpötilan ja rajoittuneen säteilylämmönsiirron vuoksi. Hiukkaset ovat pääosin höyrystymättömiä mineraalihiukkasia, palamattomia polttoainehiukkasia, sorbenttihiukkasia ja kattilasta poistunutta petimateriaalia, keskkoon ollessa noin 30 µm (kuva 3). Kivihiiltä poltettaessa hiukkaspitoisuus on noin 12–20 g/Nm<sup>3</sup> palamattomien osuuden ollessa noin 15 % ja rikinpoistossa käytettävän sorbentin muodostamien hiukkasten noin 30 %. Turvetta poltettaessa hiukkaspitoisuus on noin 6–12 g/Nm<sup>3</sup> ja puuta poltettaessa 2–6 g/Nm<sup>3</sup>, joista palamattomien osuus on noin 10 %. (Ohlström 1998, 26–28, Lammi, Lehtonen & Timonen 1993).

## Arinakattilat

Arinakattiloita käytetään höyryn ja lämmön tuotantoon etenkin pienessä, alle 5 megawatin kokoluokassa. Arinakattiloissa käytettävän polttoaineen palakoko on suuri, palamislämpötila on leijupetikattilaa vastaava, ja polttoaineen ja palamisilman sekoittuminen vähemmän tehokasta kuin leijupetikattiloissa. Näistä syistä höyrystä tiivistyneiden pienhiukkasten määrä on vähäinen ja palamattomien hiukkasten määrä suuri. Arinakattilassa muodostuvien hiukkasten halkaisija on keskkooltaan 60–70 µm. Turvetta ja puujätettä poltettaessa savukaasujen hiukkaspitoisuus on noin 2–10 g/Nm<sup>3</sup> ja puuhaketta poltettaessa 0,5–3 g/Nm<sup>3</sup>. Palamattomien osuus hiukkasista on 40–60 %. (Ohlström 1998, 28–29, Lammi, Lehtonen & Timonen 1993).



Kuva 3. Hiukkasten muodostuminen kivihiiltä polttavassa kiertopetikattilassa. (Raiko et al. 2002).

## ***Öljykattilat***

Öljykattiloissa hiukkasten muodostumiseen vaikuttaa öljyjen alhainen kiintoaineksen määrä kiinteisiin polttoaineisiin nähden. Suurin osa hiukkasista, noin 70–90 %, on palamatonta nokea tai öljykoksia, ja vain pieni osa hiukkasista muodostuu höyrystyneistä ja höyrystymättömistä kiintoaineista. Kaiken kaikkiaan hiukkaskoko on pieni verrattuna muihin polttomuotoihin. Merkittävimmät hiukkaspäästöt syntyvät raskasta polttoöljyä poltettaessa, koska raskaan polttoöljyn sisältämät kiintoaineet, tuhka ja asfalteenit, aiheuttavat itsessään hiukkaspäästöjä. Raskas polttoöljy on myös muun muassa viskositeettinsa vuoksi hankala polttaa täydellisesti. 1–3 megawatin painehajotteisilla öljykattiloilla päästään raskasta polttoöljyä poltettaessa alimmillaan noin 200 mg/Nm<sup>3</sup> hiukkaspäästöihin, kun taas suurempitehoisilla höyryhajotteisilla tai pyöriväkuppisilla polttimilla päästään 80–150 mg/Nm<sup>3</sup> päästötasoihin. Vesiemulsiopoltolla, eli sekoittamalla 4–10 p-% vettä raskaan polttoöljyn joukkoon, voidaan vähentää poltossa syntyviä hiukkaspäästöjä jopa 70 %. (Ohlström 1998, 25–26, Lammi, Lehtonen & Timonen 1993).

Kevyellä polttoöljyllä hiukkaspäästöt ovat vain noin kymmenesosa raskaan polttoöljyn hiukkaspäästöistä, sillä öljy palaa täydellisemmin ja siinä on vähemmän kiintoaineita (Lammi, Lehtonen & Timonen 1993). Kevyen polttoöljyn hiukkaspäästöjen rajoittamiseen riittävätkin säännölliset poltinhuollot (Ohlström et al. 2005, 51). Myös vähärikkisten raskaiden polttoöljyjen hiukkaspäästöt ovat pienemmät kuin normaalin, rikkipitoisuudeltaan 1 % raskaan polttoöljyn hiukkaspäästöt, sillä vähärikkiset raskaat muistuttavat viskositeettinsa puolesta enemmän kevyttä polttoöljyä, ja ne sisältävät 1 % raskasta polttoöljyä vähemmän kiintoaineita. Pyrolyysiöljyn hiukkaspäästöt ovat 1 % raskaan polttoöljyn kanssa samaa tasoa, johtuen suuresta palamattoman aineksen osasta, mihin viittaa pyrolyysiöljyn suuri hiiltojäännös. (Winnes, Fridell 2009, Alakangas et al. 2016, 180–185).

## ***Dieselmoottorit***

Dieselmoottoreiden hiukkaspäästöt ovat suurempia kuin ottomoottoreiden, johtuen polttoaineen ja ilman eri sekoittamistavoista. Ottomoottorissa polttoaine ja ilma sekoitetaan ennen palotilaan syöttöä, kun taas dieselmoottorissa polttoaine ruiskutetaan ja ilma puhalletaan erikseen palokammioon, jossa sekoitus tapahtuu. Dieselmoottorissa polttoaineen ja ilman sekoittuminen on suhteellisen hidasta, jonka johdosta palamisprosessista jää savukaasuihin palamattomien kaasujen ja kiinteiden aineiden muodostamia hiukkasia, jotka kattavat suurimman osan hiukkaspäästöistä. Loput hiukkaspäästöt johtuvat voiteluöljystä ja moottorin kulumisesta. (Ohlström 1998, 33).

Raskasta polttoöljyä poltettaessa polttoaineen tuhkan höyrystyneiden komponenttien tiivistyminen ja palamattomat kiintoaineet aiheuttavat suurimman osan hiukkasista. Kevyessä polttoöljyssä, jossa kiintoainepitoisuus on todella vähäinen, suurin osa hiukkasista on palamatonta polttoainetta. Hiukkaspäästöjä voidaan vähentää ruiskutusnopeutta lisäämällä ja ruiskutuksen laatua parantamalla. Hiukkaspäästöjen vähentäminen kuitenkin lisää usein typenoksidipäästöjä, joten moottorin suunnittelussa on minimoitava hiukas- ja typenoksidipäästöjen yhteismäärää. Kevyttä polttoöljyä polttavien moottoreiden hiukkaspäästöt ovat noin 0,5 g/kWh luokkaa. (Ohlström 1998, 33–34).

### 3.1.2 Dynaamiset erottimet

Dynaamiset erottimet ovat paino-, keskeis- ja hitausvoimiin perustuvia hiukkaserottimia. Dynaamisia erottimia ovat sedimentaatiokammiot, lamellierottimet ja syklonit. Pienhiukkasten erottamiseen pystyy näistä osittain vain sykloni, minkä vuoksi sykloni on eniten käytetty dynaaminen hiukkaserotin energiantuotantolaitoksissa. Yleisimmät syklonityypit ovat vastavirtausyklonit ja läpivirtausyklonit. Kaasun sisäänmenon perusteella nämä voidaan vielä jakaa aksiaalisiin ja tangentialisiin. Kuvassa 4 on esitetty vastavirtasykloni aksiaalisella sisäänvirtauksella. (Ohlström 1998, 36-37).

Syklonien toiminta perustuu hiukkasiin kohdistuviin keskipakovoimiin ja hitausvoimiin, jotka saadaan aikaan saattamalla kaasuvirtaus pyörivään liikkeeseen. Esimerkiksi hiukkasiin, jotka liikkuvat 10 m/s tangentialisella nopeudella syklonissa, jossa on 1 metrin halkaisija, kohdistuu painovoimaan nähden noin kaksikymmenkertainen keskipakovoima. Hiukkaset ajautuvat syklonin seinämille ja liukuvat seinämiä pitkin syklonin alaosasta keräyssäiliöön. (Ohlström 1998, 37, Flagan, Seinfeld 1988, 415).

Syklonien tavallinen erotusaste on noin 90 %. Sykloni poistaa savukaasuista tehokkaasti yli 15 µm hiukkaset, mutta erotuskyky on huonompi pienillä hiukkasilla. Erotusastetta voidaan parantaa lisäämällä kaasuvirtauksen nopeutta, pidentämällä syklonia, lisäämällä syklonin kaasuvirtaukseen aiheuttamaa kierrosmäärää, sekä silentämällä syklonin pintaa. Toisaalta paremman erotusasteen lisäksi usein myös syklonissa tapahtuva painehäviö kasvaa. (Ohlström 1998, 39). Yksinkertaisen rakenteensa ansiosta syklonit ovat muihin hiukkaspuhdistimiin verrattuna edullisia. Alle 5 megawatin polttolaitoksissa investointi on noin 6 000 €/MW<sub>pa</sub> ja suuremmissa laitoksissa noin 1 600 €/MW<sub>pa</sub>. (Ohlström et al. 2005, 31).

Syklonien etuja ovat niiden yksinkertaisuus, pieni koko, edullinen hinta, toimintakyky eri lämpötiloissa, ja suuri kapasiteetti. Haittapuolia ovat syklonissa tapahtuva painehäviö, välttävä erotusaste eritoten pienhiukkasille, sekä herkkyys vaihteleville pölypitoisuuksille ja virtausnopeuksille. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 5-16, Ohlström et al. 2005, 28).



Kuva 4. Vastavirtasykloni, jossa on aksiaalinen sisäänvirtaus. (Ohlström et al. 2005).

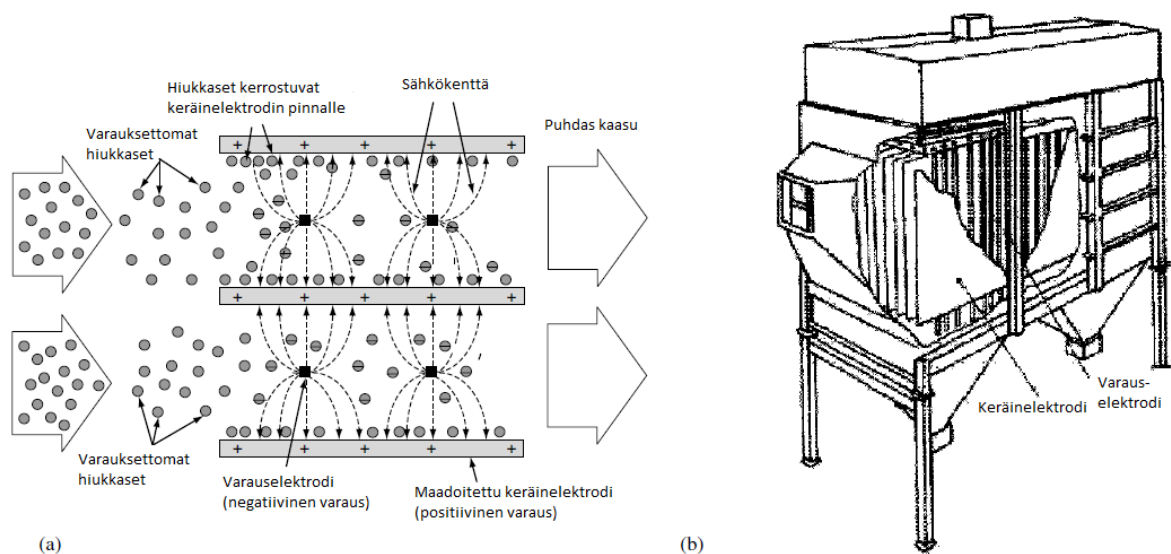


### 3.1.3 Sähkösuodattimet

Sähkösuodatin (ESP, engl. *Electrostatic Precipitator*) on yleisin käytetty hiukkaspuhdistuslaite kiinteitä polttoaineita polttavissa polttolaitoksissa. Sähkösuodattimet jaetaan kylmä- ja kuumapuolisuodattimiin sen perusteella, missä kohtaa savukaasukanavaa ne sijaitsevat. Kuumapuolisuodattimien toimintalämpötila on 320–400 °C, koska ne sijaitsevat ennen palamisilman esilämmitintä (LUVO, saks. *Luft-Vorwärmer*). Kylmäpuolisuodattimet sijaitsevat palamisilman esilämmittimen jälkeen ja niiden toimintalämpötila on 120–150 °C. Suurin osa energiantuotannossa käytettävistä sähkösuodattimista on kylmäpuolisuodattimia. Sähkösuodattimet voidaan jakaa myös kuviin ja märkiin suodattimiin sen mukaan, kuinka kosteaa kaasua puhdistetaan ja millä tavalla hiukkaset keräävät pinnat pidetään puhtaina. (Ohlström 1998, 40-43, Nicol 2013, 11).

Sähkösuodattimen toimintaperiaate ja rakenne on esitetty kuvassa 5. Sähkösuodattimen toiminta perustuu sähköstaattisen voiman hyödyntämiseen. Sähkösuodatin koostuu erillisistä kentistä, joissa olevat ohuet metallilangat toimivat varauselektrodeina, kun niihin johdetaan korkeajännitteistä tasavirtaa. Voimalaitos- ja teollisuussovelluksissa varauselektrodi on yleensä negatiivinen, koska tällöin päästään korkeampaan käyttöjännitteeseen. Varauselektrodin synnyttämä sähkökenttä kiihdyttää ympäröivässä kaasussa olevien ionien liikettä kohti keräyselektrodeina toimivia levyjä. Ionien liike aiheuttaa törmäysten vuoksi myös ympäröivien kaasumolekyylien ja hiukkasten varautumista, jolloin sähköstaattinen voima alkaa vaikuttaa myös näihin. Hiukkaset kerääntyvät keräyselektrodien pinnoille, ja kerrostumat puhdistetaan mekaanisesti esimerkiksi ravistinvasaroilla (kuiva sähkösuodatin), tai vedellä huuhtelemalla (märkä sähkösuodatin). Puhdistuksen yhteydessä hiukkaset putoavat suodattimen pohjalle, josta ne poistetaan keräyssäiliöön. (Ohlström 1998, 40-42, Nicol 2013, 11).

Uusimmissa sähkösuodattimissa erotusaste voi olla yli 99,9 % ja päästötaso 15–50 mg/Nm<sup>3</sup>. Sähkösuodattimen erotusaste on alhaisin alle 1 µm hiukkasissa, jopa alle 90 %. Erotuskykyä parantavat savukaasujen vesihöyry ja rikin oksidit. Erotuskykyä heikentäviä tekijöitä ovat korkeampi lämpötila, palamattomat hiukkaset, sekä korkeammat typpi-, vety- ja hiilidioksidipitoisuudet. (Ohlström et al. 2005, 20-21).



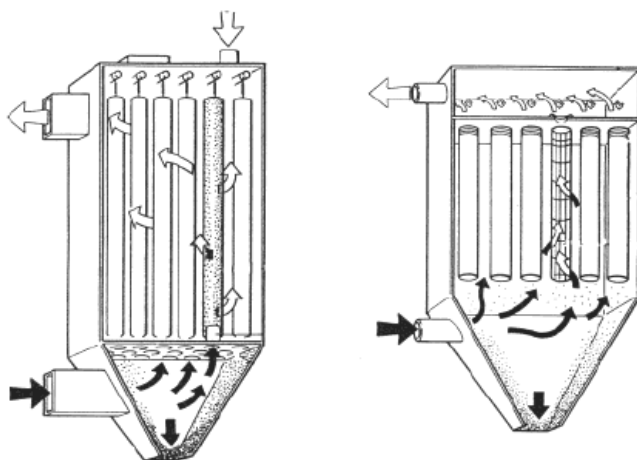
Kuva 5. Sähkösuodattimen toimintaperiaate (a) ja rakenne (b). (Williams 2013).

Sähkösuodattimet ovat sykloneita huomattavasti monimutkaisempia ja suurempia, mikä heijastuu myös investointikustannuksiin. Pienien, alle 5 megawatin polttolaitosten sähkösuodattimien hinta on noin 40 000 €/MW<sub>pa</sub>, suurempien polttolaitoksen investointihinnan ollessa 15 000–20 000 €/MW<sub>pa</sub>. Sähkösuodattimen vahvuuksia ovat korkea erotusaste, pienet painehäviöt, vähäinen energiankäyttö, vähäinen huollontarve, sekä toiminta jopa 450 °C lämpötiloissa. Heikkouksia ovat korkea investointihinta, herkkyys vaihteleville pölypitoisuuksille ja virtausnopeuksille, sekä korkeajännitteen vaatimat varotoimenpiteet. (Ohlström et al. 2005, 29, 31).

### 3.1.4 Kuitusuodattimet

Kuitusuodattimia hyödynnetään hiukkaspoistossa silloin, kun hiukkaset ovat korkearesistiivisiä ja sähkösuodatin ei erota niitä kunnolla, sekä silloin, kun hiukkaspäästöjen päästörajat ovat erityisen tiukkoja. Kuitusuodattimia on lukuisia eri materiaaleja ja konstruktioita. Kuitusuodattimen sijoitus savukaasulinjassa riippuu kuitujen lämpötilan kestävydestä sekä savukaasujen vesihöyryn kastepisteestä. Villa- ja puuvillakuituiset suodattimet kestävät lämpötiloja 100 °C asti, lasikuitu 290 °C asti ja keraamiset kuidut yli 1 000 °C asti. Normaalisti kuitusuodatin sijoitetaan palamisilman esilämmittimen jälkeen ennen vesihöyryn kastepistettä, lämpötila-alueelle 120–180 °C, mutta keraamiset kuidut mahdollistavat sijoittamisen korkeampiin lämpötiloihin. Voimalaitossovelluksissa tyypillisin kuitusuodatintyyppi on niin sanottu letkusuodatin (tai pussisuodatin), jonka esimerkkikonstruktioita on esitetty kuvassa 6. (Ohlström 1998, 45-48, Nicol 2013, 32).

Kuitusuodattimen toiminta perustuu savukaasun virtaamiseen kuiduista kudotun kankaan läpi, jolloin suuret hiukkaset tarttuvat suodattimeen hitausvoimien ja pidätyksen vaikutuksesta ja pienet hiukkaset diffuusion vaikutuksesta. Lisäksi sähköiset voimat vaikuttavat hiukkasten tarttumiseen. Pidätys toimii tehokkaammin, kun kuitusuodattimeen on ehtinyt muodostua pölykerros, joten uuden, puhtaan suodattimen erotusaste on käytössä ollut huonompi. Letkujen pölykerroksia puhdistetaan tietyin väliajoin ravistamalla, vastakkaiseen suuntaan aiheutetulla virtauksella tai painepulssilla. Letkusuodattimen elementit (kuva 6) ovat pitkiä, onttoja ja sylinterin muotoisia putkia. Elementin muodon ansiosta erotukseen saadaan suuri pinta-ala tilavuusvirtaan nähden. Kuvassa 6 vasemmalla savukaasu johdetaan letkusuodatinelementin sisäpuolelta ulkopuolelle, kun taas oikealla puolella savukaasu johdetaan elementin ulkopuolelta elementin sisäpuolelle. (Ohlström 1998, 46-48, Zevenhoven, Kilpinen 2004, 5-33).



Kuva 6. Erilaisia letkusuodattimia. (Lammi, Lehtonen & Timonen 1993).

Kuitusuodattimen pienhiukkasten erotusaste on yli 99 % ja kokonaiserotusaste jopa yli 99,95 %. Kuitusuodattimen päästötaso on tällöin noin 5–25 mg/Nm<sup>3</sup>. Suodattimen erotuskyky on heikoin 0,1–1 µm kokoisissa hiukkasissa, koska hitausvoimien ja pidätyksen vaikutus on heikko niin pienillä hiukkasilla, ja diffuusio heikkenee hiukkaskoon kasvaessa. (Nicol 2013, 32, Ohlström et al. 2005, 25).

Kuitusuodattimet ovat sähkösuodattimien tavoin sykloneita kalliimpia, investointikustannusten ollessa noin 13 000–18 000 €/MW<sub>pa</sub> yli 5 megawatin polttolaitoksissa. Suodatinelementtejä joudutaan kuitenkin uusimaan muutaman vuoden välein, mikä heijastuu korkeampina käyttökustannuksina. Kuitusuodattimen etuna on korkea erotusaste. Heikkouksia ovat herkkyys suodatusnopeudelle ja lämpötilalle, korkea painehäviö, sekä letkujen vaihto- ja huoltotarve. (Ohlström et al. 2005, 24-31).

### 3.1.5 Savukaasupesurit

Energiateollisuudessa käytettäviä pesureita ovat rikinpoistoon käytetyt pesurit, lämmöntalteenottopesurit ja hiukkasten poistoon tarkoitetut pesurit. Rikinpoistoon tarkoitettuja pesureita käsitellään luvussa 3.3.2. Lämmöntalteenottopesurit ja hiukkasten poistoon tarkoitetut pesurit voidaan jakaa pesutorneihin, joissa pesurissa käytetty neste ruiskutetaan hajotussuuttimilla, sekä venturipesureihin, joissa pesurin neste hajotetaan pisaroiksi savukaasuvirran avulla. Suomessa lämmöntalteenottopesurit ja hiukkasten poistoon tarkoitetut pesurit ovat suhteellisen harvinaisia. (Ohlström 1998, 49).

Pesureiden hiukkaspuhdistus perustuu hiukkasten tarttumiseen pesurissa käytettyyn nesteeseen. Pesurin neste hajotetaan halkaisijaltaan 0,1–1 mm pisaroihin, jotka savukaasuvirtaan osuessaan törmäävät savukaasun mukana kulkeutuviin hiukkasiin. Törmäysten ja pisaroiden pintaan kiinnittymisen lisäksi diffuusio sitoo hiukkasia pesurin nesteeseen. Pesurista tuleva hiukkaspitoinen jätevesi vaatii savukaasujen puhdistuksen jälkeen vuorostaan käsittelyn. Pesureilla voidaan puhdistaa savukaasuvirrasta hiukkasten lisäksi myös kaasumaisia aineita valitsemalla tähän soveltuva pesuneste. Voimalaitoksissa käytettävissä savukaasupesureissa käytetään nesteenä usein kalkkipohjaisia pesunesteitä, joilla voidaan sitoa savukaasuista myös rikkiä. (Flagan, Seinfeld 1988, 456-457, Ohlström et al. 2005, 27).

Savukaasupesureilla päästään tyypistä riippuen 80–99 % erotusasteisiin. Pesureiden vastaava päästötaso on 50–150 mg/Nm<sup>3</sup>. (Ohlström et al. 2005, 27). Venturipesurit ovat pesutorneihin nähden tehokkaampia hiukkasten erottajia, johtuen suuremmista nopeuseroista savukaasun ja pesunesteen välillä, sekä pienemmästä pisarakoosta (Ohlström 1998, 50-51). Sähkö- ja kuitusuodattimiin nähden savukaasupesurit erottavat tehokkaasti myös pieniä, alle 1 µm kokoisia hiukkasia (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 5-41).

Pesurit ovat hiukkaspuhdistusmenetelmistä kalleimpia. Investointikustannukset ovat pesurityypistä ja koosta riippuen 35 000–80 000 €/MW<sub>pa</sub> yli 5 megawatin polttolaitoksissa. Lisäksi jäteveden käsittely aiheuttaa suhteellisen suuret käyttökustannukset. Pesureiden etuja ovat hyvä erotusaste (myös pienhiukkasten), mahdollisuus puhdistaa kaasumaisia komponentteja, mahdollisuus lämmöntalteenottoon, hyvä tehokkuuden säädettävyyys, sekä vähentynyt pölyräjähdysriski. Haittapuolia ovat korroosio- ja eroosio-ongelmat, jäteveden käsittelyn tarve, ja jäätymisongelmat. (Ohlström et al. 2005, 28-31).

## 3.2 Typen oksidit

Polttoprosesseissa muodostuvia typen oksideita ovat typpimonoksidi NO, typpidioksidi NO<sub>2</sub> ja ilokaasu N<sub>2</sub>O. Lämpötilaltaan korkeissa, yli 900 °C polttoprosesseissa typen oksideista noin 95 % on typpimonoksidia ja vain 5 % typpidioksidia. Typpimonoksidi hapettuu ilmakehässä kuitenkin typpidioksidiksi, joten typpimonoksidin ja -dioksidin ympäristövaikutukset ovat samankaltaisia. Kolmannen molekyylin, ilokaasun vaikutus kasvaa alle 900 °C polttoprosesseissa, kuten leijukerros-poltossa. (Raiko et al. 2002, 300-301).

Typpimonoksidi ja typpidioksidipäästöt aiheuttavat ympäristössään happamaa laskeumaa ja rehevöitymistä, sekä muodostamiensa sekundäärihiukkasten kautta fotokemiallista sumua erityisesti suurkaupungeissa. Lisäksi typpimonoksidi ja -dioksidi ärsyttävät ihmisten ja eläinten hengityselimiä ja altistavat niitä taudeille. Ilokaasu tuhoaa yläilmakehän maapalloa suojaavaa otsonikerrosta CFC-yhdisteiden (CFC, *engl. Chlorofluorocarbon*) tavoin ja osallistuu lisäksi kasvihuonekaasuna ilmastomuutokseen. (Raiko et al. 2002, 300-301, Kampa, Castanas 2008).

### 3.2.1 Muodostuminen

Typen oksideita muodostuu polttoprosessin aikana useiden eri mekanismien vaikutuksista. Typen lähteenä toimii palamisilman molekyylityppi tai polttoaineen orgaaninen tyyppi. Typpimonoksidin ja typpidioksidin muodostumistapoja ovat terminen NO<sub>x</sub>, nopea NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> muodostuminen N<sub>2</sub>O-välituotteesta ja polttoaine NO<sub>x</sub>. Ilokaasu puolestaan muodostuu pääosin syaanivedyn hapettumisen tai typpimonoksidin pelkistymisen seurauksena. (Raiko et al. 2002, 304-322).

#### *Terminen NO<sub>x</sub>*

Typen oksidien termisessä muodostumismekanismissa typen lähteenä toimii palamisilman molekyylityppi. Typpioksidi muodostuu molekyylitypen N<sub>2</sub> ja happiatomin O reagoidessa niin sanotun Zeldovichin mekanismin mukaan:

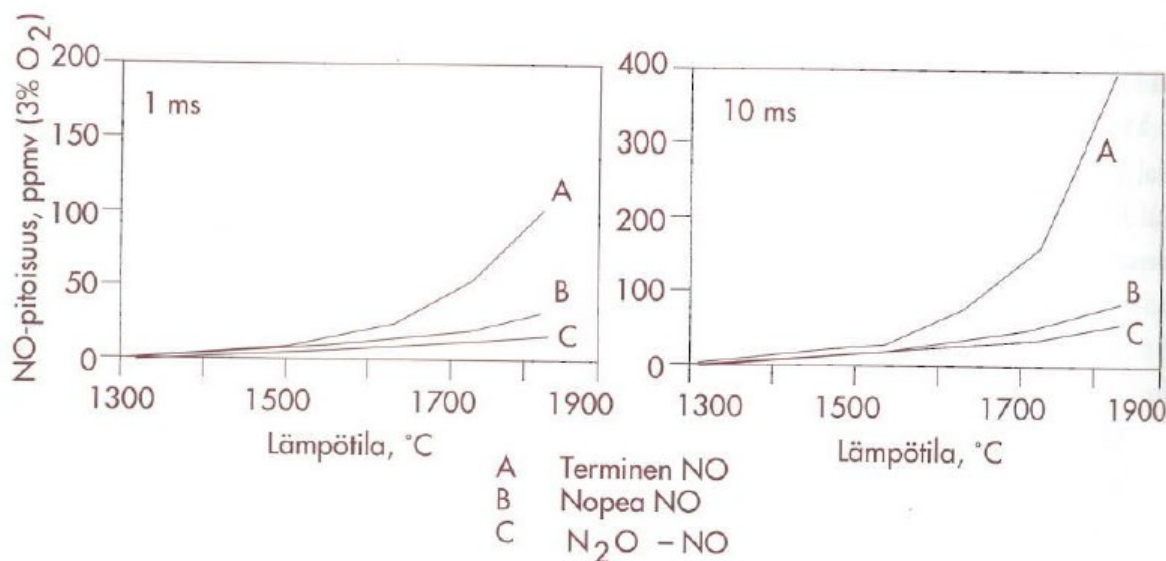


Ali-ilmaisissa, polttoainerikkaissa poltto-olosuhteissa reaktion (3) merkitys pienenee happiatomien vähäisen määrän vuoksi. Tällöin typin hapettavat hydroksyyli-radikaalit OH:



Reaktioita (2)-(4) kutsutaan laajennetuksi Zeldovichin mekanismiksi. (Raiko et al. 2002, 304-305, Flagan, Seinfeld 1988, 168).

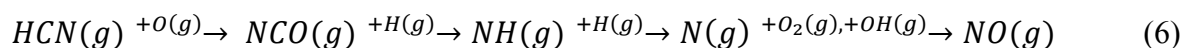
Reaktio (2) on muodostumista rajoittava, sillä reaktiolla on korkea aktivaatioenergia, ja reaktio riippuu happiatomien pitoisuudesta. Happiatomien pitoisuus kasvaa ja aktivaatioenergia on helpompi saavuttaa korkeissa lämpötiloissa, minkä vuoksi muodostumisprosessi kiihtyy voimakkaasti lämpötilan kasvaessa, josta juontaa nimitys terminen NO<sub>x</sub>. Alle 1400 °C lämpötiloissa termisen NO<sub>x</sub> osuus muista mekanismeista syntyviin typen oksideihin nähden on pieni (kuva 7). Terminen NO<sub>x</sub> on merkittävä muodostumismekanismi poltinpoltoissa, jossa poltinliekin lämpötila voi paikoin ylittää 1400 °C. (Raiko et al. 2002, 305).



Kuva 7. Laskentatulokset eri  $NO_x$  muodostumismekanismien merkityksestä lämpötilan ja viipymisajan suhteen poltettaessa metaania. Paine 1 bar, ilmakerroin 1,15. (Raiko et al. 2002).

### Nopea $NO_x$

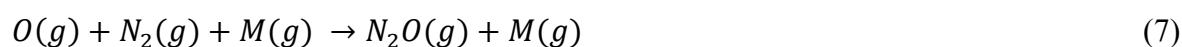
Toinen palamisilman tyyppistä lähtöisin olevien typen oksidien muodostumismekanismi on nopea  $NO_x$ . Mekanismissa palamisilman molekyylytppi  $N_2$  reagoi polttoaineesta muodostuneen hiilivetyradikaalin CH kanssa muodostaen syaanivetyä HCN ja typpi-atomeita N, jotka reagoivat edelleen esimerkiksi reaktioketjun (6) tavoin:

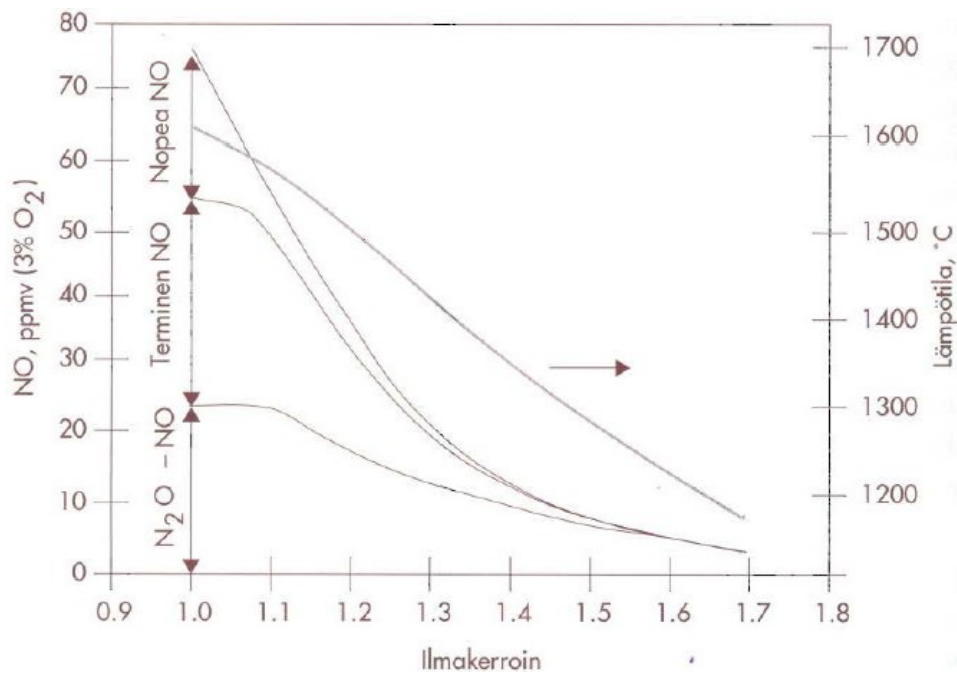


Nopean  $NO_x$  muodostumista tapahtuu vallitsevasta lämpötilasta riippumatta vain niissä polttovyöhykkeissä, joissa palaminen on kesken ja hiilivetyradikaaleja on läsnä. Muodostumisreaktiot ovat nopeita, josta on lähtöisin nimitys nopea  $NO_x$ . Nopean  $NO_x$  osuus typpi-päästöistä korostuu matalamman lämpötilan, alhaisemman ilmaylimäärän ja lyhyen viipymäajan palamisprosesseissa (kuvat 7 ja 8). (Raiko et al. 2002, 306-307, Flagan, Seinfeld 1988, 174-175).

### $NO_x$ muodostuminen $N_2O$ -välituotteesta

Kolmas mekanismi, jossa palamisilman molekyylytppi muuttuu typen oksideiksi, tapahtuu ilokaasun välituotteen kautta. Molekyylytppi  $N_2$  reagoi happiatomin O kanssa kolmannen kaasukomponentin M läsnä ollessa muodostaen ilokaasua, joka reagoi happiatomin kanssa muodostaen molekyylytippettä tai typpimonoksidia:





Kuva 8. Laskentatulokset eri  $\text{NO}_x$  muodostumismekanismien merkityksestä ilmakertoimen suhteen poltettaessa metaania. Paine 1 bar, viiveaika 4 ms. (Raiko et al. 2002).

Typinmonoksidin muodostuminen ilokaasusta molekyylytymen sijaan korostuu ilmakertoimen ja lämpötilan kasvaessa (kuvat 7 ja 8). Mekanismien vaikutus kokonaispäästöihin on merkittävin korkean ilmakertoimen polttolaitteissa, sekä korkeissa paineissa tapahtuvissa polttoprosesseissa, kuten dieselmootoreissa. (Raiko et al. 2002, 307).

### **Polttoaine $\text{NO}_x$**

Polttoaineen sisältämä typin määrä on polttoilman typen määrää huomattavasti pienempi, mutta polttoaineen sisältämä typpi on palamisilman typpeä merkittävästi reaktiivisempaa alhaisempien sidosenergioiden vuoksi. Typpi on polttoaineessa sitoutuneena orgaanisesti erilaisissa rengasrakenteissa ja aminoryhmissä. Polttoaineen pyrolyysivaiheessa osa polttoaineeseen sitoutuneesta tyypestä vapautuu muodostaen kaasumaisia syano- ja syanidihydridejä, kuten syaanivetyä  $\text{HCN}$  ja aminoyhdisteitä, kuten ammoniakkia  $\text{NH}_3$ . Happipitoisten molekyylien läsnä ollessa nämä yhdisteet hapettuvat typinmonoksidiksi. Esimerkkinä reaktioketjusta on nopean  $\text{NO}_x$  reaktioketju (6). Polttoaine  $\text{NO}_x$  riippuu vain vähän lämpötilasta. Mekanismi riippuu kuitenkin polttoprosessin ilmakertoimesta. Ali-ilmaisessa ympäristössä  $\text{HCN}$  ja  $\text{NH}_3$  reagoivat pääasiassa molekyylytyksi. (Raiko et al. 2002, 307-309, Flagan, Seinfeld 1988, 179-182).

Taulukossa 6 on esitetty eri polttoaineiden tyyppillisiä typin pitoisuuksia. Maakaasun typpi käyttäytyy palamisilman typen tavoin, joten se ei ole yhtä reaktiivista kuin muiden polttoaineiden sisältämä typpi. Poltinpoltoissa palamisilmasta muodostuva termien  $\text{NO}_x$  on valitseva mekanismi, mutta esimerkiksi kevyen polttoöljyn raskasta polttoöljyä alhaisempi typin pitoisuus ja maakaasun palamisilman typen kaltainen typin pitoisuus aiheuttavat sen, että kevyen polttoöljyn ja maakaasun typen oksidien kokonaispäästöt ovat raskasta polttoöljyä alhaisempia samaa poltinta käytettäessä.

*Taulukko 6. Polttoaineiden tyypillisiä typpipitoisuuksia. Maakaasun tyyppi käyttäytyy poltossa kuten polttoilman tyyppi. (Raiko et al. 2002).*

Polttoaine	N-pitoisuus (paino-% kuiva-aineesta)
Petshora kivihiili	2,2
Puolalainen kivihiili	1,0
Turve	1,7
Raskas öljy	0,7
Kevyt öljy	0,2
Puu	0,1–0,5
Sulfiittiliemi	0,1
Mustalipeä	0,1
Maakaasu	0,5–5,0
Olki	0,5–1,0
Pakkausjäte	~1,0
Yhdyskuntajäte	1,0–5,0

Hiilen pölypoltossa lämpötilat ovat korkeita, mutta vain 20 % typen oksideista on peräisin palamisilman tuestä. Suurin osa, noin 80 % typen oksideista, on peräisin polttoaineesta polttoaineen korkean typpipitoisuuden vuoksi. (Raiko et al. 2002, 305, 308). Kiinteitä polttoaineita poltettaessa puupolttoaineilla on alhaisemmat typpipitoisuudet ja näin ollen typen oksidien päästöt kuin turpeella. Peltobiomassojen typpipitoisuus on puun ja turpeen välillä.

### ***N<sub>2</sub>O muodostumismekanismit***

Ilokaasu muodostaa merkittävän osan typen oksidien päästöistä lähinnä leijukerros-poltossa, jossa lämpötilat ovat alhaisia, noin 800–900 °C, ja termisen NO<sub>x</sub> muodostus vähäistä. Ilokaasua muodostuu syaanivedyn HCN hapettuessa ja typpimonoksidin NO pelkistyessä koksen avulla. Syaanivedyn hapettuessa syaanivety HCN reagoi happiatomin O kanssa muodostaen NCO-radikaalin, joka reagoi typpimonoksidin NO kanssa muodostaen ilokaasua N<sub>2</sub>O:



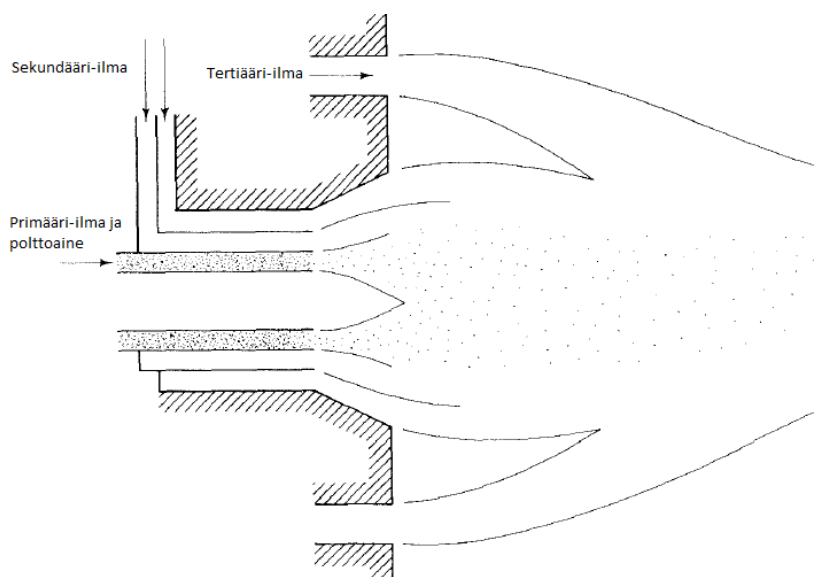
Yli 950 °C lämpötiloissa NCO-radikaali reagoi lähinnä typpimonoksidiksi reaktioketjun (6) mukaan. Ilokaasun muodostuminen korostuu alhaisemmissa lämpötiloissa ja ilmaker-toimen kasvaessa. Ilokaasua muodostuu myös typpimonoksidin pelkistyessä hiilikoksista. Tällöin happi hapettaa hiilikoksiin sitoutuneen typen välituotteeksi, joka edelleen hajoaa typpimonoksidiksi, joka pelkistyy ilokaasuksi. (Raiko et al. 2002, 320).

### 3.2.2 Palamistekniset vähennyskeinot

Palamisteknisillä vähennyskeinoilla pyritään ehkäisemään typen oksidien muodostumista, ja hajottamaan muodostuneet typen oksidit polttotilassa erilaisten hajoamismekanismien avulla, joutumatta lisäämään polttotilaan erityisesti typen oksidien hajottamiseen tarkoitettuja aineita. Typen oksidien muodostumista ehkäiseviä keinoja ovat alhaisen ilmakertoimen käyttäminen palamisprosessissa, savukaasujen kierrätys tulipesään (FGR, *engl. Flue Gas Recirculation*), ilman esilämmityksen vähentäminen, low- $\text{NO}_x$  -polttimet (LNB, *engl. Low- $\text{NO}_x$  Burner*) ja tulipesän ilmavaiheistus (OFA, *engl. Overfire Air*). Jo muodostuneen typen oksidin hajoamisreaktioiden määrää voidaan lisätä polttoainevaiheistuksen avulla (FR, *engl. Fuel Reburning*). (Raiko et al. 2002, 317).

Alhaista ilmakerrointa käytettäessä palotilan ilmamäärää säädetään lähelle palamisen stökiometristä määrää, jolloin sekä termisen- että polttoaine  $\text{NO}_x$ :n muodostuminen vähenee koska vapaita happiatomeja on vähemmän. Savukaasujen takaisinkiierrätyksessä joko hiukkasista puhdistettua tai puhdistamatonta savukaasua johdetaan tulipesään, jolloin tulipesän lämpötila laskee ja termisen  $\text{NO}_x$ :n muodostuminen vähenee. Sama idea on myös ilman esilämmityksen alentamisessa. Edellä mainitut menetelmät laskevat typen oksidien muodostumismäärää 10–30 % menetelmää kohden. Haittapuolena menetelmissä on, että kattilan hyötysuhde laskee. Alhaista ilmakerrointa käytettäessä hyötysuhdetta laskee palamattoman polttoaineen määrän kasvu tuhkassa ja savukaasuissa, ja muissa menetelmissä hyötysuhdetta laskee tulipesän lämpötilan lasku. (Raiko et al. 2002, 317).

Low- $\text{NO}_x$  -polttimien toiminta perustuu polttimen palamisilman vaiheistukseen niin, että osa polttoilmasta syötetään polttimen liekin juureen ja loppu ilma syötetään liekin reunoilta (kuva 9). Tällöin liekin juureen syntyy polttoainerikas alue, jossa suurin osa polttoainetyypistä muodostuneesta syaanivedystä  $\text{HCN}$  ja ammoniakista  $\text{NH}_3$  muuttuu molekyylitypiksi ja vain vähän jää jäljelle liekin reunalle, jossa typin oksidien muodostuminen tapahtuu. Lisäksi liekin huippulämpötilat ovat low- $\text{NO}_x$  -polttimissa perinteisiä polttimia alhaisempia, joten termisen  $\text{NO}_x$ :n muodostus vähenee. Low- $\text{NO}_x$  -polttimen typen oksidien vähennyspotentiali on 30–50 %, mutta haittapuolina on palamattoman aineksen määrästä johtuva alhaisempi hyötysuhde, sekä likaantuminen ja korroosio. (Raiko et al. 2002, 309-317).



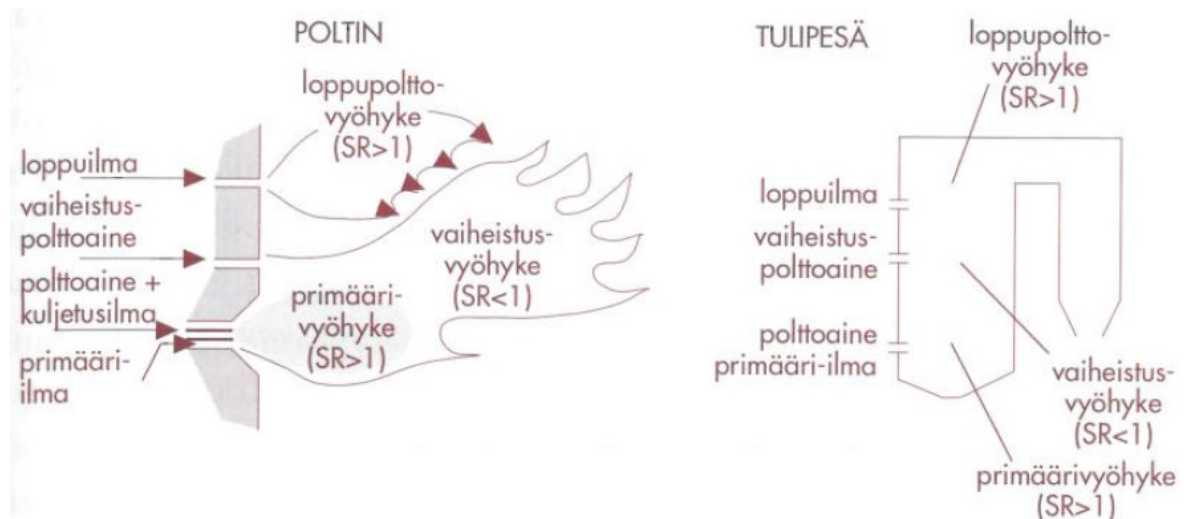
Kuva 9. Low- $\text{NO}_x$  -poltin. (Flagan, Seinfeld 1988).



Ilmavaiheistus voidaan toteuttaa myös koko tulipesän laajuudella esimerkiksi leijukerros- ja arinapoltossa. Tällöin kattilan alaosa pidetään ali-ilmaisena ja loppu ilma syötetään kattilan keski- ja yläosaan. Termisen  $\text{NO}_x$  muodostuminen vähenee huippulämpötilojen laskiessa ilmavaiheistuksen myötä. Ilmavaiheistus on tehokkaampi vähennyskeino paljon haihtuvia aineita sisältävillä polttoaineilla, koska polttoaineen koksien muodostamien typin oksidien määrä ei riipu ilmavaiheistuksesta. Koksien sisältämä typpi reagoi typen oksideiksi hapettavissa olosuhteissa, mutta säilyy reagoimattomana pelkistävässä olosuhteissa. Tulipesän ilmavaiheistuksessa voidaan saavuttaa 10–50 % typen oksidien vähennystehokkuus, mutta low- $\text{NO}_x$  -polttimen tapaan haittapuolina on palamattomasta polttoaineesta aiheutuva hyötysuhteen lasku, sekä likaantuminen ja korroosio. (Raiko et al. 2002, 311-317, Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-18).

Polttoainevaiheistuksen tavoite on pelkistää jo muodostuneita typen oksideita molekyyllitypeksi luomalla pelkistimenä käytetyn polttoaineen, esimerkiksi maakaasun, avulla kattilaan paikallinen pelkistävä alue. Polttoainevaiheistuksessa pääpolttoaine ja primääri-ilma muodostavat liekkiin yli-ilmaisesta primäärivyöhykkeen, ja vaiheistuspolttoaine muodostaa ali-ilmaisesta vaiheistusvyöhykkeen, jossa primäärivyöhykkeellä syntyneet typen oksidit pelkistyvät molekyyllitypeksi vaiheistuspolttoaineen hiilivetyradikaalien  $\text{CH}_i$  avulla (kuva 10). Vaiheistuspolttoaine poltetaan loppuun syöttämällä loppu ilmaa yli-ilmaiseen loppupolttovyöhykkeeseen. Polttoainevaiheistusta voidaan käyttää sekä polttimessa että koko tulipesässä, ja sillä voidaan saavuttaa 30–70 % typen oksidien vähennystehokkuus. Ilmavaiheistuksen tavoin haittoina ovat palamattomien kasvavasta määrästä johtuva hyötysuhteen lasku, likaantuminen ja korroosio. (Raiko et al. 2002, 312-317).

Eri palamisteknisten vähennyskeinojen tehokkuutta ja kustannuksia on esitetty taulukossa 7. Taulukossa luetelluista keinoista kustannustehokkain on low- $\text{NO}_x$  -polttimet. Taulukon tiedot on otettu lähteestä (Zevenhoven, Kilpinen 2004).



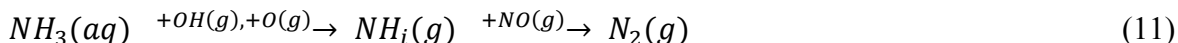
Kuva 10. Polttoaineen vaiheistus polttimella ja tulipesässä. (Raiko et al. 2002).

Taulukko 7. Palamisteknisten vähennyskeinojen vähennystehokkuuksia ja kustannuksia. Taulukon tiedot lähteestä (Zevenhoven, Kilpinen 2004).

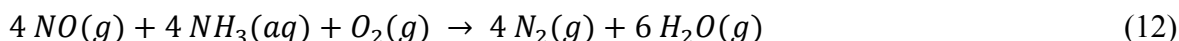
Menetelmä	Vähennystehokkuus [%]	Kustannus [USD/kW]
Low-NO <sub>x</sub> -polttimet	~50	10–20
Polttoainevaiheistus hiilellä	~50	38–50
Low-NO <sub>x</sub> -polttimet ja palamisilman vaiheistus	~60	12–28
Polttoainevaiheistus maakaasulla	~60	15
Polttoainevaiheistus maakaasulla ja savukaasujen takaisinkierrätys	60–70	15–40
Low-NO <sub>x</sub> -polttimet ja polttoainevaiheistus maakaasulla	~70	25–60

### 3.2.3 Selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistäminen

Selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistäminen (SNCR, *engl. Selective Non-Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction*) on poltossa muodostuneiden typen oksidien pelkistämiseksi kehitetty menetelmä, jossa ammoniakkia NH<sub>3</sub> tai ureaa NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub> ruiskutetaan savukaasuvirtaan noin 900 °C lämpötilassa. Ammoniakki tai urea hajoaa happiatomien O ja hydroksyyli-radikaalien OH läsnä ollessa aminoradikaaleiksi NH<sub>i</sub>, jotka pelkistävät typpimonoksidin NO molekyylitypeksi N<sub>2</sub> ilman erillistä reaktoria. Esimerkiksi ammoniakin reaktioketju on:

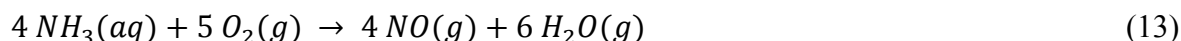


ja kokonaisreaktio on:



Kokonaisreaktiosta nähdään, että reaktion sivutuotteena syntyy vettä. Ammoniakin käsittely ja varastointi on vaarallisempaa kuin urean, mutta urean käyttö aiheuttaa yleensä korkeammat ilokaasupäästöt (N<sub>2</sub>O). (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-32, 4-33, Flagan, Seinfeld 1988, 514-515).

SNCR toimii melko kapealla lämpötila-alueella 850–1000 °C, hiilipolttoisten pölykattiloiden optimilämpötilan ollessa 950 °C. Lämpötila-aluetta korkeammissa lämpötiloissa ammoniakki alkaa hajota typpimonoksidiksi:



Lämpötila-aluetta matalammissa lämpötiloissa taas ammoniakki hajoaa liian hitaasti, jolloin savukaasuihin jää reagoimatonta ammoniakkia (ammoniakki-slip). Lämpötilaväliä voidaan siirtää lisäaineiden, esimerkiksi vetyperoksidin  $\text{H}_2\text{O}_2$  tai hiilivetyjen  $\text{C}_x\text{H}_y$ , avulla muutama sata astetta. Lisäksi optimaaliseen lämpötilaan vaikuttavat NO- ja CO-pitoisuudet ja viipymäaika. Lämpötilataso voi olla matalampi, kun NO-pitoisuus on matala, CO-pitoisuus on korkea tai viipymäaika on pitkä. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-32, Raiko et al. 2002, 315, Flagan, Seinfeld 1988, 514-515).

Hiilen pölypolttokattiloissa käytettynä SNCR vähentää typenoksidipäästöjä 40–80 %. Menetelmä on katalyyttistä menetelmää (SCR, *engl. Selective Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction*) tehottomampi, mutta myös paljon halvempi (SNCR 5–15 USD/kW ja SCR 50–80 USD/kW). SNCR:n haittapuolia ovat kapea toiminta-alue lämpötilan suhteen, ammoniakki-slipin myötä mahdolliset ammoniakkipäästöt,  $\text{N}_2\text{O}$ - ja CO-päästöt, sekä menetelmän tehottomuus  $\text{NO}_2$ -päästöjä vastaan. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-33, 4-34).

### 3.2.4 Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen

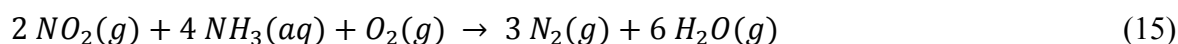
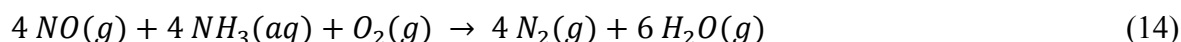
Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen (SCR, *engl. Selective Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction*) on tehokkain typen oksidien vähennyskeino. Menetelmä perustuu ammoniakin lisäämiseen savukaasuihin katalyytin läsnä ollessa. Katalyytin muodostama reaktori rakentuu yleensä 2–4 kappaleesta sarjaan kytkettyjä pystysuoria, hunajakennomaisia katalysaattoripetejä (kuva 11). Katalyyttimateriaalina käytetään tavallisesti vanadiinioksidia  $\text{V}_2\text{O}_5$  tai wolframioksidia  $\text{WO}_3$ , joka on sidottu titaniumoksidin  $\text{TiO}_2$ . (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-30, 4-31, 4-32, Raiko et al. 2002, 332-333).

SCR-reaktorit voidaan jakaa eri tyyppeihin sijoituspaikan mukaan. Kolme yleisintä sijoituspaikkaa ovat

- ”kuuma puoli, korkea tuhka”, jolloin SCR on savukaasukanavassa ennen ilman esilämmitintä ja sähkösuodatinta
- ”kuuma puoli, matala tuhka”, jolloin SCR on ilman esilämmitintä ennen ja sähkösuodattimen jälkeen
- ”kylmä puoli, matala tuhka”, jolloin SCR on sekä ilman esilämmitimen että sähkösuodattimen jälkeen, ja savukaasuja saattaa joutua uudelleen lämmittämään SCR-reaktoria varten

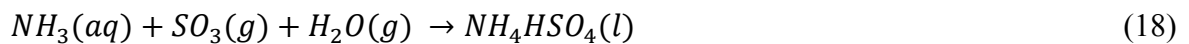
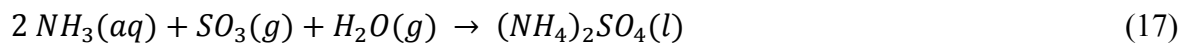
Paras vaihtoehto on kompromissi taloudellisuuden, hyötysuhteen ja käytetyn polttoaineen välillä. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-32).

SCR-prosessissa käytettävä lämpötila-alue on katalyytin käyttämisen ansiosta vain 250–500 °C, eli huomattavasti vähemmän kuin SNCR-prosessissa. Savukaasuihin lisätty ammoniakki pelkistää sekä typpimonoksidia että typpidioksidia molekyylitypeksi:



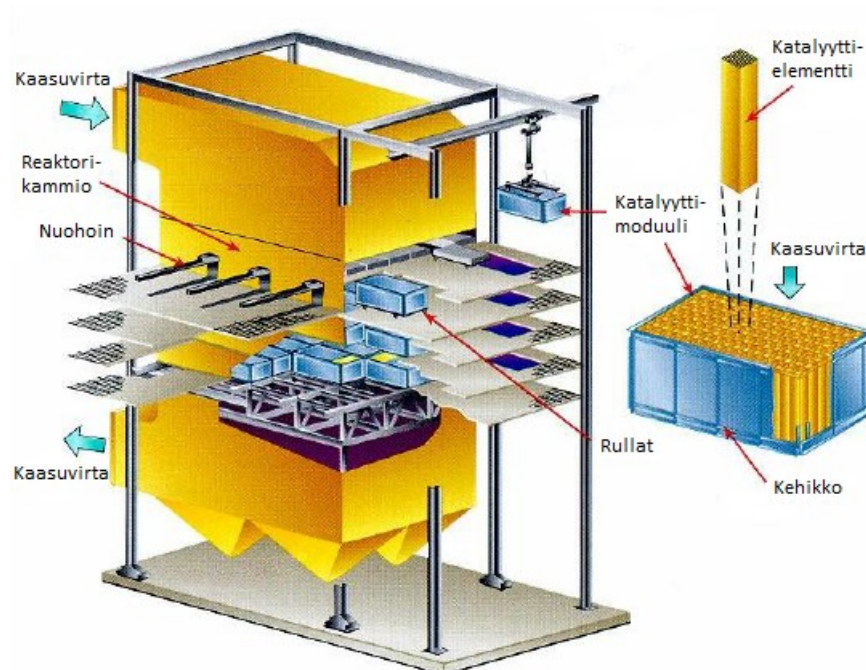
Reaktioiden sivutuotteina syntyy vettä. Ammoniakkia syötetään yleensä moolisuhteella  $\text{NH}_3/\text{NO} = 0,8 \dots 1,0$ . Tällöin voidaan päästä jopa yli 90 % erotusasteeseen ammoniakki-slipin ollessa yhä vähäinen, alle  $3,8 \text{ mg/Nm}^3$ . (Raiko et al. 2002, 332-333, Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-31).

Katalyytin käytön ongelmana on se, että katalyytti katalysoi myös savukaasun rikkidioksidin hapettumista rikkiatrioksidiksi, joka saattaa muodostaa lisäksi muita korrosoivia ja likaavia yhdisteitä:



Erityisen hankala yhdiste korroosion ja likaantumisen suhteen on ammoniumbisulfaatti  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ , jonka sulamispiste on vain  $280^\circ\text{C}$ . Rikkidioksidista muodostuvien yhdisteiden likaantuminen ja korroosio saattaa rajoittaa käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuutta. (Raiko et al. 2002, 332-333, Flagan, Seinfeld 1988, 515).

SCR-menetelmän tehokkuus vaihtelee 40 ja yli 90 % välillä, mutta kustannukset ovat korkeat, 50–80 USD/kW. Tehokkuuden lisäksi etuna on typpidioksidipäästöjen poistaminen, jota SNCR ei tee. SCR:n haittapuolia ovat kalleuden lisäksi ammoniakki-slipin myötä mahdolliset ammoniakkipäästöt, katalyyttien myrkyttyminen, sekä katalyytin katalysoimat korrosoivat ja likaavat yhdisteet. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-34).



Kuva 11. Tyypillinen vertikaalinen SCR-reaktori. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 4-31).

### 3.3 Rikin oksidit

Poltossa vapautuvia rikin oksideita ovat rikkidioksidi  $\text{SO}_2$  ja rikkiatrioksidi  $\text{SO}_3$ . Suurin osa polttoprosessista peräisin olevista rikin oksideista on rikkidioksidia ja vain pieni osa rikkiatrioksidia. Typpimonoksidin ja -dioksidin tavoin myös rikkidioksidi ja -trioksidi ovat ympäristövaikutuksiltaan samankaltaisia, sillä rikkidioksidi hapettuu ilmakehässä rikkiatrioksidiksi. (Raiko et al. 2002, 343).

Rikin oksidit ovat haitallisia ihmisten ja eläinten terveydelle, aiheuttaen muun muassa hengityselinsairauksia. Rikin oksidien terveysvaikutukset korostuvat kohteissa, joissa altistutaan rikin oksidien lisäksi hiukkaspäästöille. Lisäksi rikin oksidit aiheuttavat typen oksidien kanssa hapanta laskeumaa, joka on vahingollista sekä elolliselle luonnolle että rakennetulle ympäristölle. Poltossa muodostuva rikkiatrioksidi voi aiheuttaa lisäksi polttolaitoksen savukaasukanavassa matalan lämpötilan korroosiota muodostamalla vesihöyryn kanssa kaasumaista rikkihappoa. (Raiko et al. 2002, 343, Kampa, Castanas 2008).

#### 3.3.1 Muodostuminen

Energiantuotantoprosesseissa vapautuvat rikin oksidit ovat peräisin poltettavaan polttoaineeseen sitoutuneesta rikistä, josta valtaosa vapautuu polton aikana savukaasuihin rikkidioksidina, lopun rikin sitoutuessa tuhkan alkali- ja maa-alkalimetalleihin. Rikkidioksidista pieni osa hapettuu edelleen rikkiatrioksidiksi. Koska rikin oksidit ovat peräisin polttoaineen rikistä, voidaan poltossa muodostuva rikin oksidimäärä laskea polttoaineen rikkipitoisuuden perusteella. Samasta syystä rikin oksidien muodostumismäärään voidaan vaikuttaa vain valitsemalla vähärikkisempiä polttoaineita. (Raiko et al. 2002, 344-346).

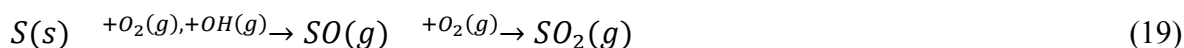
Polttoaineiden rikkipitoisuus vaihtelee noin 0 ja 5 % välillä (taulukko 8). Rikki voi olla sitoutuneena polttoaineessa epäorgaanisina yhdisteinä, esimerkiksi pyriittinä  $\text{FeS}_2$  ja sulfaatteina, tai orgaanisina yhdisteinä, kuten tiofeeneinä, sulfideina ja tioleina. Kivihiilen rikistä 50–80 % on epäorgaanista, valtaosin pyriittiä. Polttoöljyt ja biopolttoaineet sisältävät rikkiä orgaanisessa muodossa ja maakaasussa rikkiä voi esiintyä rikkivetynä  $\text{H}_2\text{S}$ . Maakaasu ja kevyt polttoöljy sisältävät raskasta polttoöljyä huomattavasti vähemmän rikkiä, joten myös niiden rikkidioksidipäästöt ovat pienempiä. Kiinteistä polttoaineista kivihiili sisältää eniten rikkiä ja puu vähiten, turpeen ja peltobiomassojen rikkipitoisuuden ollessa näiden välillä. (Raiko et al. 2002, 344-346, Flagan, Seinfeld 1988, 217).

*Taulukko 8. Polttoaineiden tyypillisiä rikkipitoisuuksia ja rikkidioksidin ominaispäästöjä. (Raiko et al. 2002).*

polttoaine	rikkipitoisuus paino-%	rikkipäästö mg $\text{SO}_2$ /MJ
kivihiili	0,2–5	150–4000
puu	< 0,05	<130
turve	0,05–0,5	50–500
maakaasu	0	0
kevyt polttoöljy	0,05–0,5	25–250
raskas polttoöljy	1–4	500–2000

## Rikkidioksidi SO<sub>2</sub>

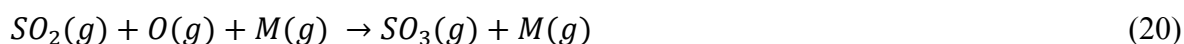
Pyrolyysivaiheessa polttoaineen rikkiyhdisteet pilkkoutuvat pienemmiksi molekyyleiksi, esimerkiksi rikkivedyksi H<sub>2</sub>S ja karbonyylisulfidiksi COS. Pienemmät rikkimolekyylit reagoivat OH-radikaalien ja molekyylihapen kanssa ja muodostavat ensin rikkimonoksidia SO ja sitten rikkidioksidia SO<sub>2</sub>:



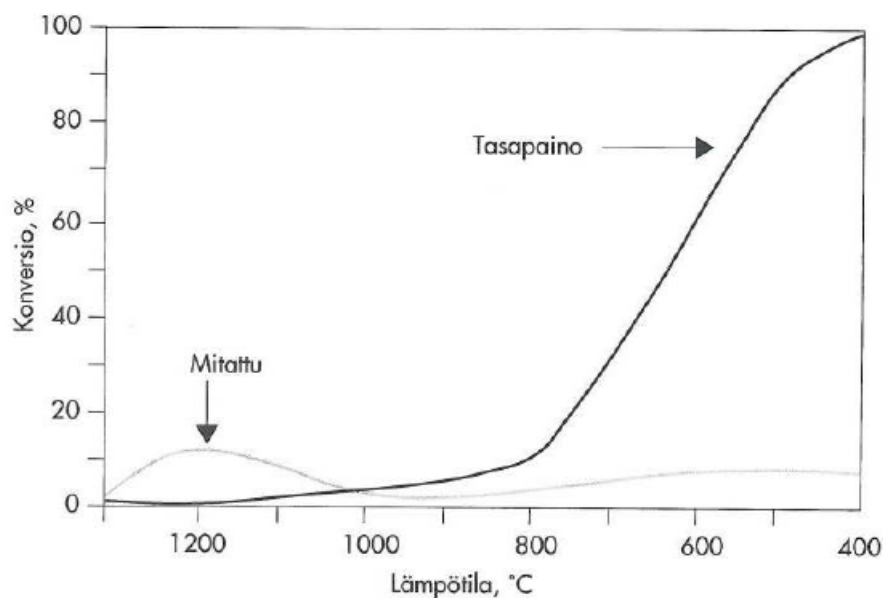
Pyriitin ensimmäinen rikkiatomi, sekä alifaattisten orgaanisten rikkiyhdisteiden rikkiatomit vapautuvat polttoaineesta helposti, mutta pyriitin toisen rikkiatomin irtoaminen vaatii enemmän aikaa kuin ensimmäisen irtoaminen, ja aromaattiset yhdisteet ovat alifaattisia yhdisteitä stabiilimpia, joten rikin irrottaminen niistä vaatii korkeita lämpötiloja. (Raiko et al. 2002, 346).

## Rikkitrioksidi SO<sub>3</sub>

Pieni osa poltossa muodostuneesta rikkidioksidista, yleensä enintään muutama prosentti, hapettuu edelleen rikkitrioksidiksi. Rikkitrioksidia muodostuu kahden mekanismin kautta. Ensinnäkin rikkitrioksidia SO<sub>3</sub> muodostuu termisesti yli 1100 °C lämpötiloissa happiatomin O kanssa kolmannen kaasukomponentin M läsnä ollessa:



Toiseksi rikkitrioksidia muodostuu katalyyttisesti matalammissa lämpötiloissa, esimerkiksi kattilan tulistinvyöhykkeellä, jossa tulistimien pinnoille kertynyt aines toimii katalyyttinä. Kuvassa 12 on esitetty rikkidioksidin konversio rikkitrioksidiksi eri lämpötilatasoilla. Korkeissa lämpötiloissa rikkitrioksidin muodostus tapahtuu termisesti ja matalammissa katalyyttisesti. Muodostuneen rikkitrioksidin määrään voidaan vaikuttaa happipitoisuutta lasquemalla. (Raiko et al. 2002, 346-348).



Kuva 12. Rikkidioksidin konversio rikkitrioksidiksi. (Raiko et al. 2002).

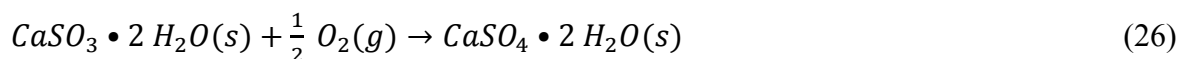
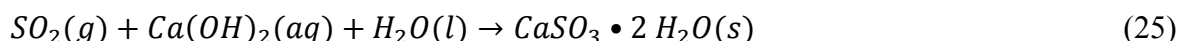
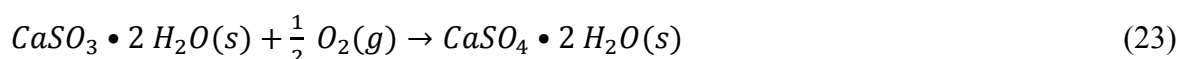
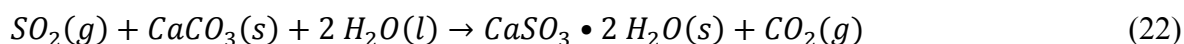
Alhaisissa lämpötiloissa rikkiatrioksidi muodostaa savukaasun vesihöyryn kanssa kaasumaista rikkihappoa:



Jos jonkin savukaasukanavan pinnan lämpötila alittaa happokastepisteen, tiivistyy rikkihappo kyseiselle pinnalle ja aiheuttaa matalalämpötilakorroosiota (Raiko et al. 2002, 348).

### 3.3.2 Märkämenetelmä

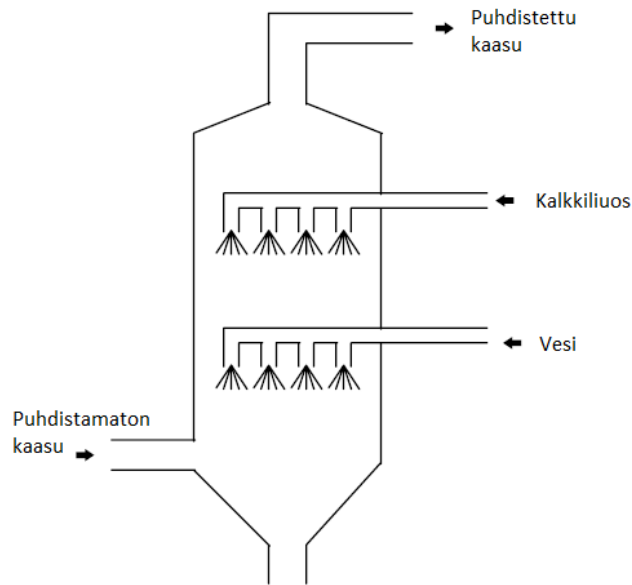
Ei-regeneroivaa märkämenetelmää hyödyntää maailmanlaajuisesti yli 80 % olemassa olevista rikinpuhdistuslaitteista (FGD, *engl. Flue Gas Desulfurization*). Laitteistoja on useita erilaisia riippuen valmistajasta ja käyttökohteesta. Yleisin reaktorityyppi on vertikaalinen, vastavirtaperiaatteella toimiva ruiskutustorni (kuva 13). Rikin oksidien sidonta perustuu savukaasujen sekaan noin 70–90 °C lämpötilassa ruiskutettuun kalkkiliuokseen, joka sitoo savukaasujen rikkidioksidiä sorption ja reaktioiden kautta. Kalkkiliuos muodostuu murskatun kalkkikiven  $CaCO_3$  (reaktiot 22–23), kalkin  $CaO$  tai sammutetun kalkin  $Ca(OH)_2$  (reaktiot 24–26) ja veden seoksesta. Kalkkiliuokset sitovat savukaasujen rikin seuraavien reaktioiden avulla:



Reaktioissa muodostuu kidevedellistä suolaa, kalsiumsulfaattidihydraattia  $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$  eli kipsiä, jota voidaan käyttää rakennus- tai täyttömateriaalina. Kalsiumsulfatin hapettuminen kalsiumsulfaatiksi voidaan toteuttaa vapaasti tai kontrolloidusti. Usein suositetaan kontrolloitua hapettamista, koska kipsin laatu paranee ja sen käytettävyys ja arvo nousevat. (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 3-11, Srivastava 2000, 4-6).

Liuoksen pH vaikuttaa kalkin tai kalkkikiven liukenemiseen liuokseen ja tätä kautta koko prosessiin. Liukoisuus vähenee pH:n laskiessa, joten jos savukaasut sisältävät rikin lisäksi muita happamia yhdisteitä muodostavia aineita, kuten vetykloridia  $HCl$ , on happamat yhdisteet ehkä poistettava esikäsitellyn hoitavalla pesurilla. (Zevenhoven, Kilpinen 2004).

Liukenevuuden parantamiseksi on kehitetty muutamia eri menetelmiä. Kaksoisalkalimenetelmässä pesuriin ruiskutettavassa liuoksessa käytetään rikin oksidien sidontaan natriumpohjaista, helpommin liukenevaa yhdistettä, kuten natriumsulfiittia  $NaSO_3$ . Muodostuva natriumbisulfiittiliuos regeneroidaan kalkilla uudelleenkäytettäväksi. Kalkista ja natriumjämistä muodostuu kuitenkin jäteliuosta, joka on käsiteltävä erikseen. Toisessa liukenevuuden parantamiseksi kehitetyssä menetelmässä käytetään kalkin seassa helpommin liukenevaa magnesiumhydroksidia  $Mg(OH)_2$ . (Srivastava, Jozewicz 2001).



Kuva 13. Vertikaalinen, vastavirtaperiaatteella toimiva ruiskutustorni. (Williams 2013).

Joissakin sovelluksissa pesuliuoksena käytetään merivettä, josta ei ole poistettu siinä luonnaisesti esiintyviä suoloja, jotka toimivat rikkidioksidin sitoijina. Merivettä käytetään monin paikoin polttolaitoksessa lauhdutukseen, joten pesurin vesi voidaan ottaa esimerkiksi lauhduttimeen menevästä merivedestä. Uutena teknologiana on kehitetty myös ammoniakkia käyttävä rikkipesuri, jonka tuotteena saadaan ammoniumsulfaattia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , jota voidaan käyttää lannoitteena. (Srivastava 2000, 11, 39-42).

Muita märkämenetelmän toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä pH:n lisäksi ovat savukaasujen virtausnopeus, liuoksen ja savukaasun  $\text{SO}_2$ :n määrien suhde, liuoksen kiintoaineen pitoisuus ja kiintoaineen viipymäaika liuoksessa. Savukaasujen virtausnopeutta optimoidaan siten, että nopeus on niin pieni että pesuliuosta ei kulkeudu puhdistetun kaasun mukana reaktorista pois, mutta nopeus on kuitenkin mahdollisimman suuri sekoittumisen parantamiseksi. Liuoksen ja rikkidioksidin määrien suhde määräytyy halutun erotustehokkuuden mukaan. Liuosmäärää lisätään paremman erotustehokkuuden saavuttamiseksi. Liuoksen kiintoainepitoisuus ja kiintoaineen viipymäaika liuoksessa vaikuttavat kiintoaineen liukenemiseen, jolla on suuri merkitys pesurin luotettavaan toimintaan. (Srivastava 2000, 6-7).

Märkämenetelmään perustuvien pesureiden erotusaste vaihtelee 52 ja 98 % välillä. Yleensä pesurit mitoitetaan kuitenkin noin 90 % erotusasteelle. Pesurit ovat investointikustannuksiltaan kalliita. Yli 400 MW kokoluokkien pesurit kustantavat 100–250 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 250–1500 USD/kW. Käyttö- ja huoltokustannukset ovat vastaavasti yli 400 MW kokoluokassa 2–8 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 8–20 USD/kW. Vuotuinen kokonaiskustannus on yli 400 MW kokoluokassa 20–50 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 50–200 USD/kW. Märkämenetelmään perustuvien pesureiden investointi- ja käyttökustannuksille on laadittu malli, jolla voi arvioida eri kokoluokkien kustannuksia. (Srivastava 2000, 32-33, 43-56, United States Environmental Protection Agency ).

Märkämenetelmää hyödyntävien laitteiden etuja ovat korkea erotustehokkuus ja prosessista saatavat hyödylliset sivutuotteet. Haittapuolia ovat korkeat investointi- ja käyttökustannukset ja pesurin suuri tilantarve.



### 3.3.3 Puolikuiva menetelmä

Puolikuiva menetelmä on vaihtoehtoinen kalkkiliuosta hyödyntävä ei-regeneroiva rikinpoistomenetelmä. Usein puhutaan myös ruiskukuivaamisesta (*engl. lime spray drying*). Puolikuivassa menetelmässä kalkkiliuos, joka on muodostunut reaktion 24 mukaisesti kalkista ja vedestä, ruiskutetaan noin 150–400 °C lämpötilassa joko savukaasukanavaan tai erityiseen kammioon. Kalkkiliuos sumutetaan erityisen pienikokoisiksi pisaroiksi, jotka savukaasun kanssa reagoidessaan sitovat kaasusta rikkiä ja reaktiotuotteena muodostuu kiinteää ainetta, kaliumsulfaattidihydraattia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Osa kiintoaineesta jää ruiskutuskammion pohjalle ja loput kiintoaineesta erotetaan hiukkaserottimella. (Srivastava, Jozewicz 2001, Zevenhoven, Kilpinen 2004, 3-19).

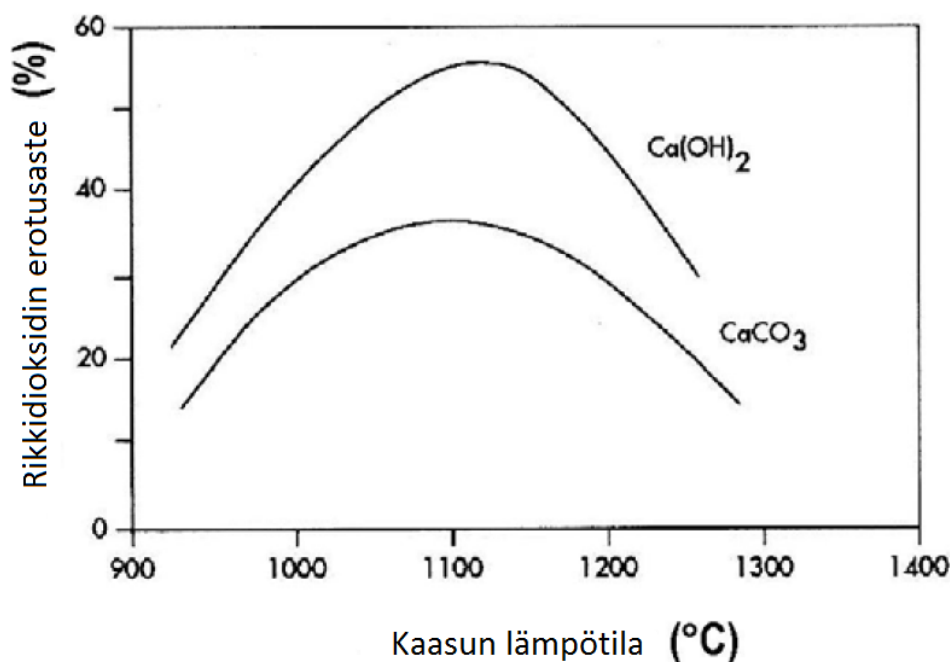
Puolikuivaa menetelmää hyödyntävien laitteiden erotusaste vaihtelee 70 ja 96 % välillä. Kuten märkämenetelmän pesurit, myös puolikuivaa menetelmää hyödynnettäessä mitoituksen pohjana on yleensä 90 % erotusaste. Puolikuiva menetelmä on investointina yleensä hieman halvempi kuin märkämenetelmä. Yli 400 MW kokoluokassa investointikustannus on 40–150 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 150–1500 USD/kW. Käyttö- ja huoltokustannukset ovat kuitenkin märkämenetelmää korkeampia, koska syntyvää jätettä ei voida hyödyntää märkämenetelmän tavoin. Yli 400 MW kokoluokassa käyttö- ja huoltokustannukset ovat 4–10 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 10–300 USD/kW. Vuotuiset kokonaiskustannukset ovat suunnilleen yhtä suuret kuin märkämenetelmällä, eli yli 400 MW kokoluokassa 20–50 USD/kW ja alle 400 MW kokoluokassa 50–200 USD/kW. (Srivastava 2000, 32-33, United States Environmental Protection Agency )

Puolikuivan menetelmän etuina on pienempi investointikustannus, yksinkertainen ja pienikokoinen laitteisto ja kuiva lopputuote. Haittapuolina ovat korkeat käyttökustannukset ja prosessista syntyvä jäte, jota ei voida hyödyntää.

### 3.3.4 Kuivamenetelmä

Ei-regeneroivaa kuivamenetelmää hyödynnetään rikinpoistossa eritoten vanhemmissa kattiloissa, joiden osalta ei haluta investoida kalliimpiin märkä- tai puolikuiviin menetelmiin. Kuivamenetelmässä polttoprosessin rikki poistetaan syöttämällä joko erilliseen reaktoriin tai suoraan tulipesään kiinteää kalkkia  $\text{CaO}$ , kalkkikiveä  $\text{CaCO}_3$  tai sammutettua kalkkia  $\text{Ca(OH)}_2$ . Jos sorbentti syötetään suoraan tulipesään, erillistä rikinerotusreaktoria ei tarvita ja investointikustannukset alenevat. Suoraa syöttöä tulipesään hyödynnetään pöly- ja leijukerrospoltoissa, mutta menetelmä toimii huomattavasti paremmin leijukerrospoltoissa, jossa sorbentin viipymäaika on pidempi kuin pölypoltoissa. Syöttöä erilliseen reaktoriin sovelletaan esimerkiksi arinakattiloiden yhteydessä. Poltoissa vapautuva rikki reagoi sorbentin kanssa ja muodostaa kaliumsulfaattidihydraattia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Tulipesäerotuksessa valitseva lämpötila on 850–1200 °C, parhaimmillaan noin 1100 °C (kuva 14). Reaktorierotuksen lämpötila on 150–250 °C. (Srivastava 2000, 14-17, Raiko et al. 2002, 352-353).

Kuivamenetelmää hyödynnettäessä rikkidioksidin erotusaste on yleensä 60–75 %, mutta leijukerrospoltoissa on mahdollista päästä jopa 95 % erotusasteeseen (Zevenhoven, Kilpinen 2004, 3-22, Raiko et al. 2002, 355). Kuivamenetelmä on investointi- ja käyttökustannuksiltaan alhaisempi kuin märkä- tai puolikuiva menetelmä, koska erillistä reaktoria ei tarvita ja syntyvä jäte on helpompaa käsitellä. Kustannuksen lisäksi etuina on yksinkertaisuus, pieni koko ja märkämenetelmää parempi rikkitrioksidin sitominen. Kuivamenetelmän suurin haittapuoli on alhainen erotusaste pölypoltoissa. (United States Environmental Protection Agency ).



Kuva 14. Kuivamenetelmän erotusaste tulipesästä eri sorbenteilla lämpötilan funktiona. (Zevehoven, Kilpinen 2004).

### 3.3.5 Regeneroivat menetelmät

Regeneroivat rikinpoistomenetelmät eroavat ei-regeneroivista menetelmistä siten, että rikkidioksidin sorbentti regeneroidaan termisesti tai kemiallisesti uudelleenkäytettäväksi ja lopputuotteena syntyy konsentroitua rikkidioksidia  $\text{SO}_2$ , jota voidaan käyttää esimerkiksi rikkihapon valmistuksessa. Regeneroivat menetelmät voidaan ei-regeneroivien menetelmien tapaan jakaa märkiin ja kuiviin menetelmiin. Tunnetuimmat märät regeneroivat menetelmät käyttävät sorbenttina natriumsulfiittia  $\text{NaSO}_3$ , magnesiumoksidia  $\text{MgO}$ , natriumkarbonaattia  $\text{NaCO}_3$  ja amiineita  $\text{R-NH}_2$ . Tunnetuin kuiva regeneroiva menetelmä hyödyntää aktiivihiiltä. (Srivastava 2000, 17-19, Zevehoven, Kilpinen 2004, 3-17).

Regeneroivat menetelmät kattavat vain murto-osan kaikista rikinpoistomenetelmistä, koska niiden käyttökustannukset ovat merkittävästi muita menetelmiä korkeammat. Korkeat käyttökustannukset ovat menetelmän suurin haittapuoli. Menetelmän etuja ovat prosessista syntyvä hyödyllinen sivutuote, rikkidioksidi, sekä menetelmän jätteettömyys. (Srivastava 2000, 17).

## 4 Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:n kohteiden esittely

Tämän diplomityön tavoite on selvittää ympäristölainsäädännössä voimaantulevien määräysten, PIPO:n ja MCP:n, vaikutuksia ja vaadittuja muutoksia niissä energiapalveluiden kohteissa, joissa diplomityön tilaaja Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy (lyhennettynä STEP) toimii tällä hetkellä energiapalveluiden tuottajana. STEP toimii energiapalveluiden tuottajana teollisuusasiakkaille neljällä eri paikkakunnalla: Harjavallan Suurteollisuuspuistossa, Koskenkorvalla, Kaustisilla ja Seinäjoella. Tässä luvussa esitellään STEPin energiapalveluihin liittyvää tämänhetkistä energiantuotantokapasiteettia ja toimintaympäristöä eri paikkakunnilla ja tutkitaan PIPO:n ja MCP:n määräysten toteutusta. Kunkin alaluvun lopuksi tehdään yhteenveto kohteiden tarpeellisista muutoksista.

### 4.1 Harjavallan Suurteollisuuspuisto

STEP tuottaa höyryä, prosessilämpöä, prosessivesiä ja paineilmaa Harjavallan Suurteollisuuspuistossa (kuva 15) toimiville asiakkaille ja kaukolämpöä Harjavallan kaupungille. Harjavallan Suurteollisuuspuistossa STEPin asiakkaita ovat kupari- ja nikkelijalosteita valmistava Boliden Harjavalta Oy (BOHA), nikkelimetalleja ja -kemikaaleja valmistava Norilsk Nickel Harjavalta Oy (NNH), teollisuuskaasuja tuottava Oy Aga Ab, lannoitekemikaaleja valmistava Yara Suomi Oy, kemikaaleja ja kemianteollisuuden tuotteita valmistava Kemira Oyj, sekä logistiikkapalveluita tuottava Valtasiirto Oy.

Energiamäärien suhteen suurimmat asiakkaat Suurteollisuuspuistossa ovat BOHA ja NNH. Harjavallan Suurteollisuuspuiston energiantuotanto perustuu kymmeneen STEPin omistamaan kattilaan, kolmeen BOHA:n omistamaan lämmöntalteenottokattilaan ja kahteen BOHA:n omistamaan rikkihappotehtaaseen. Harjavallan Suurteollisuuspuiston energiatase ja karttakuva on esitetty liitteissä 1 ja 2.



*Kuva 15. Harjavallan Suurteollisuuspuisto.*

#### 4.1.1 STEPIn kattilat

##### *30 MW pellettihöyrykattila*

Vuonna 2016 valmistunut 30 megawatin pellettihöyrykattila on Suurteollisuuspuiston uusin energiantuotantoyksikkö, joka sijaitsee erillään muista kattiloista. Kattila on 40 bar höyryä tuottava vesiputkikattila, jonka tuottama höyry johdetaan 38 bar höyryverkkoon. Kattilan pääpolttoaine on puupelletti ja käynnistys- ja varapolttoaine nesteytetty maakaasu (LNG, engl. *Liquefied Natural Gas*). Kattila tuottaa höyryä vuodesta 2017 alkaen 90 000–200 000 megawattituntia vuodessa ja sitä käytetään peruskuormakattilana.

Pellettihöyrykattilan käyttämä puupelletti tuodaan kattilalaitoksen polttoainesiiiloihin rekoilla. Puupelletit jauhetaan pellettimyllyssä ja seulotaan hienoksi pölyksi, jonka jälkeen pellettipöly poltetaan kattilan pölypolttimella. Nesteytetty maakaasu höyrytetään polttoainesten varastointialueen LNG-terminaalin höyrystimellä, ja kaasumainen maakaasu toimitetaan paineistettuna maanalaisessa muoviputkessa LNG-säiliöltä kattilalaitokselle. Laitoksen savukaasut puhdistetaan kaksikenttäisellä sähkösuodattimella. Savukaasujen happi-, hiilimonoksidi- ja pölypitoisuutta sekä lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisilla mittauksilla.

Pellettihöyrykattilan savupiipun korkeus on 65 metriä ja kattilarakennuksen korkeus on 20 metriä. Piippu täyttää PIPO-asetuksessa kiinteän polttoaineen kattilan savupiipulle vaadittu 40 metrin minimikorkeuden ja on 2,5 kertaa kattilarakennuksen korkuinen, siis yli 50 metriä, kuten PIPO vaatii. PIPO-asetuksen ja MCP-direktiivin pellettihöyrykattilalle määrittämät päästöraja-arvot ja vuoden 2016 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 9. Pellettihöyrykattilan ympäristöluvassa kattilalle on määritetty PIPO:n mukaiset päästöraja-arvot (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2015). Kattilan takuuarvot ovat SUPO:n mukaiset, koska suunnittelussa huomioitiin mahdollinen toinen samanlainen laitos samalle alueelle. Päästömittaustulosten mukaan pellettihöyrykattila täyttää PIPO:n ja MCP:n päästörajat mittausepävarmuudet huomioiden. Ainoastaan poltettaessa maakaasua täydellä teholla typenoksidipäästöt ylittävät raja-arvon, mutta kattila on päästöiltään asetusten mukainen kun mittausepävarmuus otetaan huomioon.

*Taulukko 9. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 30 MW pellettihöyrykattilalle ja pellettihöyrykattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO (pelletti)	MCP (pelletti)	Mittaukset (pelletti)	PIPO (maakaasu)	MCP (maakaasu)	Mittaukset (maakaasu)
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	40	30	1–3	-	-	<1–1,5
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	375	650	120–215	200	200	135–212
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	200	<1	-	-	<1

## 20 MW raskasöljykattila

Vuonna 2011 valmistunut 20 megawatin raskasöljykattila on vesiputkikattila, joka tuottaa höyryä 38 bar höyryverkkoon. Kattilan pääpolttoaine on raskas polttoöljy ja sytytyspolttoaine nestekaasu (LPG, engl. *Liquefied Petroleum Gas*). Kattilaa on käytetty vuosien 2012–2015 aikana keskimäärin 6800 tuntia vuodessa. Vuonna 2016 kattilan käyttö on vähentynyt uuden 30 megawatin pellettihöyrykattilan käyttöönoton myötä, mutta käyttötunteja kertyy tästä huolimatta arviolta 3000–3500. Vuodesta 2018 alkaen kattilan käyttömäärän arvioidaan vähenevän uuden rikkihappotehtaan tuottaman höyryn ansioista muutamia satoihin käyttötunteihin.

Kattilan käyttämä raskas polttoöljy pumpataan kattilan 10 m<sup>3</sup> päivä säiliöön 490 m<sup>3</sup> raskasöljysäiliöltä. Suurteollisuuspuiston kaksi 490 m<sup>3</sup> HFO-säiliötä ja yksi 200 m<sup>3</sup> LFO-säiliö sijaitsevat omalla alueellaan, jota käsitellään myöhemmin luvussa. Nestekaasu tulee nestekaasupulloista, joista otetaan nestekaasua myös höyrystys-, tulistus- ja apukattiloille. Polttoaine poltetaan Saacken SKVS 200 -mallisella pyöriväkuppisella low-NO<sub>x</sub> polttimella. Kattilassa on lisäksi ammoniakkiruiskutus (SNCR) typen oksidien vähentämiseksi, sekä multisykloni ja mahdollisuus vesiemulsion käyttöön hiukkaspäästöjen vähentämiseksi. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. 20 megawatin kattilan savupiipun korkeus, 65 metriä, ylittää PIPO-asetuksen vaatiman minimikorkeuden, joka on 45 metriä raskasta polttoöljyä polttavan kattilan savupiipulle.

Taulukossa 10 on esitetty PIPO:n ja MCP:n määräämät päästöraja-arvot ja vuoden 2015 päästömittaustulokset 20 MW raskasöljykattilalle. Nykyinen ympäristölupa määrää hiukkaspäästöjen päästöraja-arvoksi 70 mg/Nm<sup>3</sup> ja typen oksidien päästöraja-arvoksi 600 mg/Nm<sup>3</sup> (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2011). Kattilan rikkidioksidipäästöjä ei ole mitattu, mutta niiden suuruudeksi arvioidaan 1520 mg/Nm<sup>3</sup> raskaalla polttoöljyllä. Hiukkas- ja typenoksidipäästöt ovat mittaustulosten mukaan uuden lainsäädännön mukaisia, mutta rikkidioksidipäästöt ylittävät PIPO:n 1.1.2018 ja MCP:n 1.1.2025 voimaantulevat päästörajat huomattavasti, joten rikkipäästöjen vähentämiseksi kattilan käyttämää polttoainetta on muutettava tai kattilaan on lisättävä savukaasujen rikinpuhdistuslaitteisto.

*Taulukko 10. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 20 MW raskasöljykattilalle ja raskasöljykattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	30	25–35
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	600	650	343–578
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	350	-

## 18,2 MW höyrystyskattila

Polttoaineteholtaan 18,2 megawatin höyrystyskattila on 38 bar höyryä tuottava vesiputkikattila. Kattilan pääpolttoaine on raskas polttoöljy ja sytytyspolttoaine nestekaasu. Kattilan keskimääräinen käyttötuntimäärä vuosina 2012–2015 oli 3700 tuntia vuodessa. Kuten 20 megawatin raskasöljykattilan, myös höyrystyskattilan käyttö on vähentynyt vuonna 2016 uuden 30 megawatin pellettihöyrykattilan myötä, mutta käyttötunteja kertyy silti noin 3000. Vuodesta 2018 alkaen uusi rikkihappotehdas vähentää myös höyrystyskattilan tarvetta arviolta muutamaan sataan käyttötuntiin vuodessa. Kattila on jo käyttöikänsä loppupuolella, sillä käytön on arvioitu loppuvan viimeistään vuoden 2024 lopussa.

Höyrystyskattilan raskas polttoöljy pumpataan höyrystys-, tulistus- ja apukattilan yhteiseen 15 m<sup>3</sup> päiväsäiliöön 490 m<sup>3</sup> raskasöljysäiliöltä ja nestekaasu otetaan nestekaasupulloista. Kattilan polttimina on kaksi höyryhajotteista Oilon RT-12S -poltinta. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. Kattilan savukaasut johdetaan tulistuskattilan savukaasujen kanssa yhteiseen, 37 metriä korkeaan savupiippuun, jonka korkeus ei täytä PIPO-asetuksen raskasta polttoöljyä polttavan kattilan savupiipulle vaatimaa 45 metrin minimikorkeutta. Kattiloiden yhteistä savupiippua on siis joko pidennettävä tai kattiloiden käyttämää polttoainetta vaihdettava.

Höyrystyskattilan ja tulistuskattilan savukaasut johdetaan yhteiseen savupiippuun, joten päästöraja-arvot määräytyvät yhteenlasketun tehon (25,2 megawatin) perusteella. PIPO:n höyrystys- ja tulistuskattilalle määräämät päästöraja-arvot ja höyrystyskattilan vuoden 2015 päästömittaustulokset näkyvät taulukossa 11. MCP-direktiiviä ei höyrystys- ja tulistuskattiloiden suhteen tarvitse huomioida, sillä kattiloiden käyttöikä ei yllä vuoteen 2025.

Kattilan rikkidioksidipäästöjä ei ole mitattu, mutta päästöjen suuruudeksi arvioidaan 1520 mg/Nm<sup>3</sup> raskaalla polttoöljyllä. Mittaustulosten ja rikkidioksidin päästöarvion perusteella höyrystyskattilan hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt eivät täytä 1.1.2018 voimaantulevia PIPO:n asettamia päästörajoja. Kattilan polttoainetta on siis muutettava tai savukaasuja puhdistettava hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen laskemiseksi.

*Taulukko 11. PIPO:n asettamat päästöraja-arvot 18,2 MW höyrystyskattilalle ja 7 MW tulistuskattilalle ja höyrystyskattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	185
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	600	399
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	-

## **7 MW tulistuskattila**

7 megawatin tulistuskattila on höyrystyskattilan yhteydessä toimiva vesiputkikattila, joka tuottaa höyrystyskattilan kylläisestä höyrystä tulistettua 400 °C höyryä 6,3 megawatin turbiinille. Kattila käyttää pääpolttoaineena raskasta polttoöljyä ja sytytyspolttoaineena nestekaasua. Tulistuskattilaa käytetään yleensä vain muutama kymmenen tuntia kuussa. Turbiinia käytetään tulistuskattilan tuottaman höyryn lisäksi myös ylimääräisen 38 bar höyryn redusoimiseen silloin kun höyryn tarjonta ylittää kysynnän. Kattilan keskimääräinen käyttötuntimäärä oli noin 500 tuntia vuosina 2012–2015. Kattilaa tullaan jatkossa käyttämään suunnilleen yhtä paljon kuin vuosina 2012–2015, mutta käytön on arvioitu loppuvan viimeistään vuoden 2024 lopussa.

Tulistuskattilan käyttämä raskas polttoöljy pumpataan kattilalle höyrystyskattilan kanssa yhteisestä öljykoneikosta ja nestekaasu otetaan nestekaasupulloista. Kattilan polttimina on kaksi höyryhajotteista Oilon RT-8S -poltinta. Kattilan savukaasut johdetaan höyrystyskattilan savukaasujen kanssa samaan savupiippuun. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti.

Tulistuskattilan hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöjä ei ole mitattu lainkaan, joten päästöjen suuruusluokka on arvioitava. Tulistuskattilan polttimet ovat samantyyppisiä kuin höyrystyskattilassa, joten höyrystyskattilan päästömittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että höyrystyskattilan tavoin tulistuskattilan hiukkas- ja rikkidioksidipäästöarajat ylittyvät, joten kattilan savukaasuja on puhdistettava tai kattilan käyttämää polttoainetta on vaihdettava.

## **15,7 MW apukattila**

Polttoaineteholtaan 15,7 megawatin apukattila on vesiputkikattila, joka tuottaa höyryä 4,5 bar höyryverkkoon. Apukattilassa poltetaan pääpolttoaineena raskasta polttoöljyä ja sytytyksessä nestekaasua. Apukattilaa käytettiin vuosina 2012–2015 keskimäärin 3600 tuntia vuodessa, vuonna 2016 käyttötunteja kertyy arviolta 2500. Vuodesta 2018 eteenpäin apukattilan käytön arvioidaan vähentyvän 30 megawatin kattilan ja uuden rikkihappotehtaan höyryntuotannon myötä. Apukattilan käytön on arvioitu höyrystyskattilan tavoin loppuvan viimeistään vuoden 2024 lopussa.

Apukattilan polttimen toiminta pohjautuu kaasuturbiiniprosessiin. Polttimena toimii painehajotteinen Oilon EPRP-1200 M (EcoPower). Kattilan käyttämä raskas polttoöljy pumpataan polttimelle päiväsailiöiltä ja nestekaasu otetaan nestekaasupulloista. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. Apukattilan savupiipun korkeus on 20 metriä, joten piippu on huomattavasti PIPO-asetuksen raskasta polttoöljyä polttavan kattilan savupiipulle vaatimaa 45 metrin korkeutta lyhyempi. Kattilan savupiippua on siis pidennettävä tai kattilan käyttämää polttoainetta vaihdettava.

PIPO-asetuksen apukattilalle määräämät päästöarajat ja apukattilan vuoden 2015 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 12. MCP ei tule voimaan ennen apukattilan käyttöönsä päättöstä, joten direktiivin päästöarvoja ei tarvitse huomioida. Kattilan rikkidioksidipäästöiksi arvioidaan 1520 mg/Nm<sup>3</sup>. Mittaustulosten mukaan apukattilan hiukkas- ja typenoksidipäästöt, sekä arvioitu rikkidioksidipäästö eivät täytä PIPO:n määräämiä raja-arvoja, joten kattilan savukaasuja on puhdistettava tai polttoainetta on vaihdettava.

*Taulukko 12. PIPO:n asettamat päästöraja-arvot 15,7 MW apukattilalle ja apukattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	71
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	600	681
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	-

### **10,9 MW Noviter-kattila**

10,9 megawatin Noviter-kattila tuottaa 4,5 bar höyryä NNH:n kemikaalitehtaalle silloin, kun 38 bar höyryä ei ole saatavilla riittävästi. Kattilan pääpolttoaine on raskas polttoöljy ja sytytyspolttoaine nestekaasu. Kattilaa käytettiin vuosien 2012–2015 aikana noin 500 tuntia vuodessa. Vuodelta 2016 käyttötunteja kertyy noin 300. Kattilan käytön odotetaan pysyvän samana 30 megawatin kattilan ja uuden rikkihappotehtaan höyryntuotannon myötä.

Noviter-kattilan poltin on painehajotteinen Oilon RP-1000 EM. Kattilan käyttämä raskas polttoöljy pumpataan polttimelle raskasöljysäiliöiltä ja nestekaasu otetaan nestekaasupullostasta. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. Kattilan savupiipun korkeus on 34 metriä, joten piippu on PIPO:n raskasta polttoöljyä polttavan kattilan savupiipulle vaatimaa 45 metrin korkeutta lyhyempi. Kattilan savupiippua on siis pidennettävä tai kattilan käyttämää polttoainetta vaihdettava.

Noviter-kattilan vuoden 2016 päästömittaustulokset ja PIPO:n ja MCP:n määräämät päästöraja-arvot näkyvät taulukossa 13. Rikkidioksidipäästöiksi arvioidaan 1520 mg/Nm<sup>3</sup>. Kattila ei täytä MCP:n hiukkas- ja typenoksidipäästöjen raja-arvoja. Rikkidioksidipäästöt ylittävät sekä PIPO:n että MCP:n raja-arvot, joten kattilan polttoainetta on vaihdettava tai savukaasuja on puhdistettava.

*Taulukko 13. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot Noviter-kattilalle ja Noviter-kattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	140	30	85
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	900	650	774
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	350	-



### 3 MW kaukolämpökattila

Vuonna 2013 valmistunut 3 megawatin pellettikäyttöinen arinakattila tuottaa kaukolämpöä Harjavallan kaupungin kaukolämpöverkkoon. Kattila on polttoaineteholtaan alle 5 megawattia ja se sijaitsee erillään voimalaitosalueen öljykattiloista, joten kattilaan ei sovelleta PIPO-asetusta, mutta tuleva MCP-direktiivi koskee kattilaa. Arinakattilan pääpolttoaine on puu- tai turvepelletti, mutta käytännössä kattilassa poltetaan aina puupellettejä. Kattilaa käytetään silloin, kun rikkihappotehdas 7:ltä ei saada kaukolämpöverkkoon tarpeeksi talteenottolämpöä. Nykyään kaukolämpökattilaa käytetään keskimäärin 2000 tuntia vuodessa.

Kaukolämpökattilan pelletit tuodaan kattilalaitoksen polttoainesiiiloihin rekoilla. Pelletit siirretään syöttöruuvilla arinalle palamaan. Kattilasta tulevat savukaasut puhdistetaan multisyklonilla. Savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. Kaukolämpökattilan savupiipun korkeus on 15 metriä. MCP:n kattilalle määäämät päästöraja-arvot näkyvät taulukossa 14. Kattilalle ei ole tehty päästömittauksia.

*Taulukko 14. MCP:n asettamat päästöraja-arvot 3 MW kaukolämpökattilalle.*

	MCP (puupelletti)	MCP (turvepelletti)
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	50
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	650	650
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	1100

### Kuumavesikattilat K1, K2 ja K3

Kuumavesikattilat K1 ja K2 ovat lämpötehoiltaan 3,7 megawatin ja K3 2 megawatin prosessi- ja kaukolämpöä tuottavia, raskasta polttoöljyä polttavia tulitorvituliputkikattiloita. Polttoainetehoa on yhteensä 11,1 megawattia. Kuumavesikattiloita on käytetty vuosien 2012–2015 aikana keskimäärin vajaa 400 tuntia vuodessa, mutta vuosina 2015 ja 2016 käyttö oli vain noin 20 tuntia vuodessa.

30 megawatin pellettihöyrykattilan ja uuden rikkihappotehtaan käyttöönoton myötä kuumavesikattiloiden tuotanto pysynee tulevaisuudessakin niin vähäisenä, että kattiloiden kunnossapitokustannukset ovat merkittäviä verrattuna käyttöön. Lisäksi PIPO-asetuksen myötä kuumavesikattiloiden piippua pitäisi pidentää ja savukaasuja puhdistaa, tai polttoainetta vaihtaa, jos kuumavesikattiloiden käyttöä halutaan jatkaa 1.1.2018 jälkeen.

Rikkihappotehtaiden ja lämmöntalteenottokattiloiden mahdollisten vikatilanteiden vuoksi STEP:n kattiloiden on pystyttävä tuottamaan noin 90 megawatin höyry- ja lämpöteho energiapalveluiden toimitusvarmuuden turvaamiseksi. STEP:n kattilat pystyvät tuottamaan noin 95 megawatin verran höyry- ja lämpötehoa ilman kuumavesikattiloita, joten kuumavesikattiloiden käytöstä poistaminen on kustannustehokasta eikä se vaaranna energian toimitusvarmuutta. Näistä syistä kattilat poistetaan käytöstä vuonna 2017.

#### 4.1.2 Lämmöntalteenottokattilat ja rikkihappotehtaat

Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueella on kolme BOHA:n omistamaa lämmöntalteenottokattilaa (LTO-kattilaa), jotka tuottavat 38 bar höyryä alueen höyryverkkoon. Nikkeli- ja kuparisulaton kattilat tuottavat höyryä liekkisulatuksessa tapahtuvasta rikasteen rikin ja raskaan polttoöljyn palamisesta syntyvästä lämmöstä ja konvertterikattila kuparisulan polttamisesta syntyvästä lämmöstä. Raskas polttoöljy on prosessissa tukipolttoaineena. Prosessista syntyvä rikkidioksidi jalostetaan rikkihapoksi rikkihappotehtailla. Nikkelisulaton höyryntuotanto vuonna 2015 oli noin 91 GWh, kuparisulaton noin 202 GWh ja konvertterikattilan noin 24 GWh. Kuparisulaton höyrystä 92 GWh käytettiin kuparirikasteen kuivaamiseen, joten kuparisulaton nettotuotanto höyryverkkoon oli noin 110 GWh. LTO-kattiloista höyryverkkoon saatu teho oli vuonna 2015 keskimäärin 28 MW.

Suurteollisuuspuistossa on kaksi BOHA:n omistamaa rikkihappotehdasta, rikkihappotehdas 6 (RH6) ja rikkihappotehdas 7 (RH7), jotka tuottavat rikkihapontuotannon sivutuotteena prosessi- ja kaukolämpöä Suurteollisuuspuiston ja Harjavallan kaupungin tarpeisiin. Vuonna 2018 alueelle valmistuu uusi rikkihappotehdas 8 (RH8), joka korvaa rikkihappotehdas 6:n. Rikkihappotehdas 8 tuottaa lämmön lisäksi 38 bar höyryä. Rikkihappotehdas 6:n lämmöntuotanto vuonna 2015 oli 45 GWh ja rikkihappotehdas 7:n lämmöntuotanto 78 GWh. Keskimääräinen lämpöteho oli vuonna 2015 keskimäärin 15 MW. Uusi rikkihappotehdas 8 tuottaa valmistuessaan 300 GWh lämpöä ja 100 GWh höyryä vuodessa. Vuodesta 2019 rikkihappotehtailta saadaan siis noin 12,5 MW höyryteho ja 47 MW lämpöteho.

#### 4.1.3 Muu toimintaympäristö

##### *Polttoaineiden varastointi ja käsittelyalueet*

30 megawatin pellettihöyrykattilan ja 3 megawatin kaukolämpökattilan käyttämät pelletit varastoidaan laitosten suljettuihin polttoainesiiioihin. 30 megawatin pellettihöyrykattilalla on kaksi 500 m<sup>3</sup> pellettisiiiloa ja 3 megawatin kaukolämpökattilalla kaksi 75 m<sup>3</sup> pellettisiiiloa. Pellettihöyrykattilan pellettimyllyn jauhama pöly puhalletaan paineilmalla suljetussa putkistossa pölysiiloon ja pölysiilosta polttimelle. Pölyn siirtoputkisto on varustettu kipinävahdilla ja sammutusjärjestelmällä palovaaran poistamiseksi.

STEPin 10 m<sup>3</sup> raskaan polttoöljyn päiväsäiliö sijaitsee voimalaitoksen ulkopuolella ja 15 m<sup>3</sup> päiväsäiliö voimalaitoksen sisäpuolella. 10 m<sup>3</sup> päiväsäiliö on kaksoisvaippasäiliö ja 15 m<sup>3</sup> säiliö on muuratussa tilassa, joka toimii tarvittaessa riittävänä suoja-altaana. Vedenottamolla on lisäksi 2 m<sup>3</sup> kevytöljysäiliö, jossa on riittävä suoja-allas. STEPin kattiloiden ja BOHA:n käyttämä raskas polttoöljy ja BOHA:n käyttämä kevyt polttoöljy on varastoitu samalle alueelle, kahteen 490 m<sup>3</sup> raskasöljysäiliöön ja yhteen 200 m<sup>3</sup> kevytöljysäiliöön. Säiliöt sijaitsevat yhdessä 860 m<sup>3</sup> suoja-altaassa. (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2009). Öljyn purkupaikka on reunoiltaan korotettu ja asianmukaisesti viemäroity.

Öljysäiliöiden kanssa samalla alueella sijaitsee kaksi BOHA:n 99 m<sup>3</sup> nestekaasusäiliötä ja NNH:n 279 m<sup>3</sup> LNG-säiliö osana LNG-terminaalia. Nestekaasusäiliöt ovat maapeitteisiä, ja BOHA ottaa säiliöistä nestekaasua nestemäisenä. LNG-säiliöstä lähtee kaksi yhdettä, joista toisesta johdetaan maakaasua höyrystimeen ja höyrystimeltä STEPin 30 megawatin pellettihöyrykattilan maakaasuputkeen, ja toisesta otetaan LNG:tä höyrystimen kautta Agan prosessiin. LNG-terminaalissa on nykyisen säiliön ja laitteistojen lisäksi valmiit perustukset kahdelle uudelle LNG-säiliölle ja tilaa niiden vaatimille laitteistoille.

## ***Voima- ja vesilaitoksen kemikaalit***

Harjavallan voimalaitoksella ja STEP:n vesilaitoksella käytettäviä kemikaaleja ovat raskaan ja kevyen polttoöljyn lisäksi 93 % rikkihappo, 50 % Natronlipeä, Kemira PAX 14, Boilex 510A, Advantage K350A, trinatriumfosfaatti, 32–34 % suolahappo, sekä natriumkloridi. Polttoöljyt säilötään voimalaitoksella aiemmin luvussa kuvatuissa säiliöissä, mutta muut kemikaalit varastoidaan vesilaitoksella.

Rikkihappo ja natriumhydroksidi varastoidaan 3,5 m<sup>3</sup> varastosäiliöihin, joissa on 1 m<sup>3</sup> suoja-altaat. PAX 14 varastoidaan 5 m<sup>3</sup> varastosäiliöön, jossa on 2,8 m<sup>3</sup> suoja-allas. Muut kemikaalit varastoidaan myyntipakkauksissaan ilman suoja-allasta; Boilex 200 litran muovitynnyrissä, Advantage K350A 0,1 m<sup>3</sup> säiliössä, trinatriumfosfaatti säkeissä, suolahappo 1 m<sup>3</sup> konttisäiliössä ja natriumkloridi säkeissä. Kemikaalien suoja-altaat ovat joko liian pieniä tai niitä ei ole ollenkaan, joten ne eivät ole asetusten mukaisia. 30 megawatin biohöyrykattilalaitoksessa käytetään kemikaaleista vain polyalumiinikloridia ja hapensidontakemikaalia. Polyalumiinikloridi varastoidaan 5 m<sup>3</sup> säiliöön ja hapensidontakemikaali 1 m<sup>3</sup> säiliöön, jotka on varustettu 110 % suoja-altailla. Kaikissa varastointitiloissa on betonilattia, joka estää kemikaalien pääsyn maaperään tai pohjaveteen.

## ***Vesien ja jätteiden käsittely***

30 megawatin pellettihöyrykattilan käyttämät vedet valmistetaan NNH:n kemikaalitehtaal-la, saniteetti- ja prosessijätevedet käsitellään Harjavallan kaupungin jäteveden puhdistamolla ja muut jätevedet puhdistetaan BOHA:n jäteveden puhdistamolla. Pellettihöyrykattilalaitoksen jäähdytysvedet ovat omassa suljetussa kierrossaan. Jätevesilinjassa on öljynerotuskaivo ja sulkuventtiilillä varustettu näytteenottokaivo. Piha-alueen hulevedet johdetaan hulevesiviemärin kautta tontin reunaosaan.

Muiden kattiloiden vesien valmistus tapahtuu STEP:n vedenkäsittelylaitoksella Kokemäenjoesta otetusta raakavedestä, ja talous- ja jäähdytysvesi saadaan pohjavedenottamosta. Jätevedet ja sadevesiviemäriin päätyvät jäähdytysvedet puhdistetaan BOHA:n jäteveden puhdistamolla ja johdetaan Kokemäenjokeen. Kompressorien lauhdevesilinjoissa on öljynerottimet, mutta muut jäähdytysvedet johdetaan suoraan Kokemäenjokeen.

Raskaan- ja kevyen polttoöljyn varastosäiliöiden vallitilan viemärointi on johdettu venttiilikaivon, sulkuventtiilin ja öljynerotuskaivon kautta hulevesiviemäriin. Venttiilikaivossa on ylärajahälytys. Öljyautojen purkupaikan viemärointi on johdettu 30 m<sup>3</sup> öljyvahinkosäiliöön, jonka sisältö pumpataan valvotusti 3–5 kertaa vuodessa öljynerotuskaivon kautta hulevesiviemäriin. Suurteollisuuspuiston alueen hulevedet johdetaan pääosin BOHA:n jäteveden puhdistamolle ja puhdistamolta Kokemäenjokeen. Loput hulevedet johdetaan NNH:n kemikaalitehtaan selkeytysaltaiden kautta Kokemäenjokeen.

Pellettihöyrykattilasta syntyvä lentotuhka loppusijoitetaan tällä hetkellä Lassila & Tikanoja Oyj:n toimesta ja tuhkalta etsitään hyötykäyttömahdollisuuksia. Myös 20 megawatin raskasöljykattilasta syntyvä lentotuhka ja 3 megawatin kaukolämpökattilan pohja- ja lentotuhkan seos loppusijoitetaan Lassila & Tikanoja Oyj:n toimesta.

#### 4.1.4 Yhteenveto

PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Harjavallan Suurteollisuuspuistossa on esitetty yhteenvetona taulukossa 15. Suurimmat muutokset, jotka vaaditaan tehtäväksi ennen 1.1.2018, liittyvät rikkipitoisuudeltaan 1 % raskaan polttoöljyn vaihtamiseen toiseen polttoaineeseen, tai vaihtoehtoisesti savukaasujen puhdistuslaitteiden ja korkeampien savupiippujen hankkimiseen. Eri vaihtoehtoja tutkitaan tarkemmin luvussa 5.

*Taulukko 15. PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Harjavallassa.*

Kokonaisuus	Muutoskohteet	Toimenpiteet
20 MW raskasöljykattila	Rikkidioksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen tai savukaasujen puhdistus
18,2 MW höyrystyskattila ja 7 MW tulistuskattila	Hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen tai savukaasujen puhdistus
	Savupiipun korkeus	Polttoaineen vaihtaminen tai savupiipun korottaminen
15,7 MW apukattila	Hiukkas-, typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen tai savukaasujen puhdistus
	Savupiipun korkeus	Polttoaineen vaihtaminen tai savupiipun korottaminen
10,9 MW Noviter-kattila	Rikkidioksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen tai savukaasujen puhdistus
	Savupiipun korkeus	Polttoaineen vaihtaminen tai savukaasujen puhdistus
Kemikaalisäiliöt	Suoja-altaat	Suuremmat suoja-altaat tai suoja-altaiden lisääminen

## 4.2 Altia Oyj Koskenkorva

STEP tuottaa Koskenkorvan voimalaitoksella höyryä Altian tehtaan ja A-Rehun tuotantoprosesseihin. Altia tuottaa Koskenkorvalla alkoholijuomien raaka-aineena ja teollisuusprosesseissa käytettävää 96-prosenttista etanolia sekä teollisuudessa käytettävää tärkkelystä, ja A-Rehu valmistaa nauta-, sika- ja siipikarjarehua. Altian ja A-Rehun tarvitsema energia tuotetaan pääsääntöisesti 10 megawatin biohöyrykattilalla ja 20 megawatin kiertopetikkattilalla. 16 megawatin raskasöljykattila toimii varakattilana. Tehdasalueen vedet valmistetaan Altian puhdasvesilaitoksella.

### 4.2.1 Kattilat

#### *10 MW biohöyrykattila*

Höyryteholtaan 10 megawatin biohöyrykattila Vyncke (kuva 16) on vuonna 2014 valmistunut arinakattila, joka tuottaa 14 bar tulistettua höyryä. Kattilassa poltetaan pääsääntöisesti Altian prosessin sivutuotteena syntyvää ohrankuorta, sikunaa ja E-viinaa, tukipolttoaineena puuhaketta, sekä sytytyspolttoaineena isopropanolia ja nestekaasua. Kattilassa voidaan polttaa myös turvetta. Biohöyrykattila toimii huoltoseisokkeja lukuun ottamatta vuoden ympäri tuottaen suurimman osan Altian ja A-Rehun tehtaiden tarvitsemasta höyrystä.

Biohöyrykattilassa poltettava ohrankuori puhalletaan paineilmalla Altian tehtaalta biohöyrykattilan polttoainesiloihin, joista otettava pölyn ja karkean aineen seos seulotaan erilleen välisiiloihin. Sikunan ja E-viinan seos ja sytytyspolttoaineena käytettävä isopropanoli pumpataan kiertopetikkattilan kahdelta 0,8 m<sup>3</sup> säiliöltä biohöyrykattilalle. Sytytyspolttoaineena käytettävä nestekaasu otetaan nestekaasupulloista. Tukipolttoaineena käytettävä puuhake toimitetaan rekoilla biohöyrykattilan polttoaineenvastaanottoon, josta sitä siirretään kolakuljettimilla ja syöttöruuveilla arinalle.



Kuva 16. Koskenkorvan voimalaitoksen 10 MW biohöyrykattila.

*Taulukko 16. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 10 MW biohöyrykattilalle ja biohöyrykattilan jatkuvatoimisten päästömittausten tulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	40	30	<5
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	375	650	194–242
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	200	35–110

Ohrankuoren karkea aines, hake ja mahdollinen turve poltetaan biohöyrykattilan arinalla, kun taas ohrapöly poltetaan arinakattilan pölypolttimella. Kattilaan syötetään ureaa typenoksidipäästöjen vähentämiseksi. Kattilan savukaasujen rikkidioksidia sidotaan sammutetulla kalkilla ja savukaasut puhdistetaan letkusuodattimella. Osa kattilan savukaasuista kierrätetään takaisin kattilan tulipesään lämpötilan säätämiseksi ja typenoksidipäästöjen vähentämiseksi. Biohöyrykattilan savukaasujen happi-, hiilimonoksidi-, typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuutta, sekä lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti, mutta jatkuvatoiminen opasiteettimittaus puuttuu. Kattilan savupiippu on 45 metriä korkea ja kattilarakennus 15 metriä korkea. Piipun korkeus täyttää PIPO-asetuksen kiinteitä polttoaineita polttavien kattiloiden savupiipuille vaatiman 30 metrin minimikorkeuden ja on myös 2,5 kertaa kattilarakennuksen korkuinen kuten PIPO vaatii.

PIPO:n ja MCP:n biohöyrykattilalle määräämät päästöraja-arvot, jatkuvatoimisten mittausten 11/2015–11/2016 keskiarvotulokset puolella teholla ja täydellä teholla, sekä vuonna 2014 tehdyn hiukkasmittauksen tulokset on esitetty taulukossa 16. Mittauksissa käytettiin polttoaineena 100 % peltobiomassaa. Biohöyrykattilan ympäristöluvassa on määrätty PIPO:a vastaavat päästörajat (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2014c). Päästömittausten perusteella kattilan kaikki päästöt täyttävät PIPO:n ja MCP:n vaatimukset.

## **20 MW kiertopetikattila**

20 megawatin kiertopetikattila Pyroflow on 14 bar tulistettua höyryä tuottava kattila, joka valmistui vuonna 1983. Kattilan pääpolttoaine on jysinturve. Lisäksi kattilassa poltetaan ohran kuorta, kaurapellettejä, sikunaa ja E-viinaa, sekä käynnistys- ja tukipolttoaineena raskasta polttoöljyä ja sytytyspolttoaineena nestekaasua. Kiertopetikattila tuottaa höyryä sen verran, kuin biohöyrykattilan tuotannon lisäksi tarvitaan, eli kiertopetikattilan tuotanto säätelee kokonaishöyryntuotantoa.

Kiertopetikattilan polttama jysinturve toimitetaan rekoilla kiertopetikattilan polttoaineen vastaanottoon, josta turve siirretään tankopurkaimilla ja kolakuljettimilla kattilarakennukseen. Ohrankuori puhalletaan paineilmalla ja kaurapelletit tuodaan säiliöautolla Altian ja A-Rehun tehtailta kiertopetikattilan lese- ja pölysiiloihin. Sikunan ja E-viinan seos taas pumpataan Altian tehtaalta kattilan 0,8 m<sup>3</sup> säiliöön. Käynnistys- ja tukipolttoaineena käytettävä raskas polttoöljy pumpataan raskaan polttoöljyn varastosäiliöltä kattilalle ja sytytyspolttoaineena käytettävä nestekaasu otetaan nestekaasupulloista.

*Taulukko 17. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 20 MW kiertopetikattilalle ja kiertopetikattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	50	3–10
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	555	650	385–371
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	410	830	412–433

Ohrankuorta ja kaurapellettejä lisätään leikkuriannostelijalla kolakuljettimella liikkuvan jysinturpeen päälle ja polttoaineseokitus siirretään kattilaan syöttöruuvilla. Raskasta polttoöljyä poltetaan tarvittaessa tukipolttoaineena kuudella lanssilla, joista yhdellä poltetaan normaaliajossa sikunaa. Raskasta polttoöljyä poltetaan myös kattilaa käynnistettäessä kiertopetikattilan käynnistyspolttimella. Kattilan savukaasut puhdistetaan sähkösuodattimella ja savukaasujen happipitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti, mutta hiili-monoksidipitoisuuden mittausta puuttuu. Kiertopetikattilan savupiippu on 60 metriä korkea ja täyttää PIPO-asetuksen vaatiman 30 metrin minimikorkeuden.

Kiertopetikattila on monipolttoainekattila, joten päästöraja-arvot määräytyvät eri polttoainesten raja-arvojen perusteella. Normaalisti 70 % energiasta saadaan turpeesta ja 30 % biomassoista. Polttoainejakauman perusteella lasketut päästöraja-arvot ja vuoden 2015 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 17. Päästömittauksessa käytetystä polttoainesta 95 % oli jysinturvetta ja 5 % ohrankuorta. Nykyisessä ympäristöluvassa kiertopetikattilalle on määritetty raja-arvoiksi hiukkaspäästöille 30 mg/MJ (~80 mg/Nm<sup>3</sup>) ja rikkidioksidipäästöille 200 mg/MJ (~540 mg/Nm<sup>3</sup>) (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2007).

Hiukkas- ja typen oksidien päästöt olivat sekä PIPO:n että MCP:n mukaisia, mutta rikkidioksidipäästöt ovat hieman lasketun PIPO:n raja-arvon yläpuolella. Mittauksen päästöt ovat kuitenkin lähtöisin polttoaineseoksesta, jossa jysinturpeen osuus on suurempi kuin päästöraja-arvojen laskennassa käytetyssä seoksessa, joten jysinturpeen osuuden ollessa laskennassa käytetyn osuuden tasolla rikkidioksidipäästöt laskevat raja-arvon alle.

### **15,5 MW varakattila**

Höyryteholtaan 15,5 megawatin varakattila Warko on 1975 valmistunut vesiputkikattila, joka tuottaa 14 bar tulistettua höyryä. Kattilan polttoaine on raskas polttoöljy ja sytytyspolttoaine nestekaasu. Varakattilaa käytetään biohöyrykattilan ja kiertopetikattilan vikatilanteissa ja huoltojen aikana. Käyttötunteja varakattilalle on vuosien 2015–2016 aikana kertynyt 1000–1400 vuodessa.

*Taulukko 18. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 15,5 MW varakattilalle ja varakattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	140	30	25–33
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	600	650	558–631
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	850	850	1595–1617

Varakattilan polttama raskas polttoöljy pumpataan varakattilan päiväsaaliioon raskaan polttoöljyn varastosäiliöltä ja sytytyspolttoaineena käytettävä nestekaasu otetaan kattilalle nestekaasupulloista. Raskas polttoöljy poltetaan kahdella paineilmaa tai höyryä öljyn hajotukseen käyttävällä Oilon RT-12S -polttimella. Varakattilan savukaasut puhdistetaan syklonilla. Kattilan savukaasujen happipitoisuutta, pölypitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuva-toimisesti. Varakattilan savukaasut johdetaan kiertopetikattilan savukaasujen kanssa samaan piippuun omassa savuhormissaan. Savupiippu on 60 metriä korkea ja täyttää PIPO-asetuksen vaatiman 50 metrin minimikorkeuden.

PIPO:n ja MCP:n varakattilalle asettamat päästöraja-arvot ja vuoden 2015 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 18. PIPO:n määräämät rajat ovat siis varakäyttöyksikön rajoja, joten kattilan käyttö on rajattu 1500 tuntiin vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona. MCP:n määräämä rikkidioksidin raja-arvo laskee 850 mg/ Nm<sup>3</sup> uuteen 350 mg/ Nm<sup>3</sup> arvoon 1.1.2030. Ympäristölupa määrää nykyhetken päästöraja-arvoksi hiukkaspäästöille 30 mg/MJ (~100 mg/ Nm<sup>3</sup>) (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2007).

Mittaustulosten mukaan rikkidioksidipäästöt ylittävät PIPO:n ja MCP:n päästöraja-arvot huomattavasti. Lisäksi typen oksidien päästöt ylittävät 100 % teholla PIPO:n määräämän raja-arvon ja hiukkaspäästöt MCP:n raja-arvon. Varakattilan polttoainetta on muutettava erityisesti rikki-päästöjen laskemiseksi. Polttoaineen vaihto vähempirikkiseen alentaa samalla myös typen oksidien ja hiukkasten päästöjä.

## 4.2.2 Muu toimintaympäristö

### *Polttoaineiden varastointi ja käsittelyalueet*

Biohöyrykattilan puuhakesiilo on tilavuudeltaan 200 m<sup>3</sup> ja kiertopetikattilan turvesiilo 2000 m<sup>3</sup>. Polttoaineiden purkupaikat on katettu ja siilot sekä polttoaineiden kolakuljettimien tilat on suljettu pölyämisen vähentämiseksi. Polttoainesiiloissa on hääkälmaisimet ja sammutusjärjestelmät. Biohöyrykattilan ohrankuoren varastointiin käytetään kahta 40 tonnin siiloa. Kiertopetikattilalla taas käytetään 200 m<sup>3</sup> siiloa leseeseen ja kaurapelletin varastointimiseksi ja 15 m<sup>3</sup> siiloa viljapölyn varastoimiseksi. Ohrankuori ja ohrapöly siirretään siiloihin pneumaattisesti suljetuilla putkistoilla. Siirtoputkistot on varustettu kipinävahdeilla ja sammutusjärjestelmillä.



Sikunan ja E-viinan seoksen ja isopropanolin varastointiin käytettävät 0,8 m<sup>3</sup> säiliöt on varustettu 100 % suoja-altailla, joissa on ylitäytönestimet ja vuotoilmaisimet. Voimalaitoksella on kaksi raskasöljysäiliötä, joiden tilavuudet ovat 300 m<sup>3</sup> ja 2000 m<sup>3</sup>. Vain 300 m<sup>3</sup> säiliö on käytössä. Säiliöt on sijoitettu betoniseen 100 % suoja-altaaseen, jonka lisäksi pienempi 300 m<sup>3</sup> säiliö on sijoitettu omaan suoja-altaaseensa. Varakattilan päiväsäiliö on tilavuudeltaan 7 m<sup>3</sup> ja se on varustettu ylitäytönestimellä, mutta siinä ei ole vuotoilmaisinta. Raskaan polttoöljyn purkualue on asfaltoitu tiiviisti, mutta asfalttia ei ole muotoiltu.

### ***Kemikaalit***

Voimalaitoksella käytetään normaalisti täyssuolanpoistolinjan elvytykseen suolahappoa ja lipeää. Jos täyssuolanpoisto ei toimi, käytetään kattiloiden lisävetenä ionivaihdettua vettä, jolloin ioninvaihtohartsit elvytetään natriumkloridilla. Kemikaalien purkupaikat on asfaltoitu tiiviillä asfaltilla, joka on muotoiltu niin että se estää kemikaalien pääsyn maaperään tai pohjaveteen mahdollisessa vuototilanteessa.

Kiertopetikattilalla ja varakattilalla käytetään kattilavesikemikaaleina trinatriumfosfaattia pH:n säätöön ja kovuuden poistoon, natriumhydroksidia pH:n säätöön, Boilexia hapenpoistoon ja suolahappoa elvytysmassan degenerointiin. Suolahappo on varastoitu 35 m<sup>3</sup> säiliöön, jossa on betoninen 120 % suoja-allas. Trinatriumfosfaatti ja Boilex on varastoitu 0,2 m<sup>3</sup> säiliöihin ilman suoja-allasta. Natriumhydroksidi tuodaan voimalaitokselle Altian tehtaalta kanisterissa. Kemikaaleille on lisättävä suoja-altaat.

Biohöyrykattilalla käytetään trinatriumfosfaattia, natriumhydroksidia ja Boilexia. Trinatriumfosfaatti ja Boilex on varastoitu 0,2 m<sup>3</sup> säiliöihin, joissa on 110 % suoja-altaat. Natriumhydroksidi tuodaan kattiloille Altian tehtaalta kanisterilla. Biohöyrykattilassa käytetään lisäksi typenpoistokemikaalina ureaa, jota varastoidaan 25 m<sup>3</sup> kaksoisvaippasäiliössä, jossa on ylitäytönesto. Biohöyrykattilan savukaasujen rikkidioksidin sitomiseen käytetään sammutettua kalkkia, jota varastoidaan 80 m<sup>3</sup> siilossa.

### ***Vesien ja jätteiden käsittely***

Voimalaitoksen käyttämä vesi valmistetaan Altian puhdasvesilaitoksella Kyröjoen vedestä. Saniteettijätevedet johdetaan kunnan viemäriverkkoon ja prosessijätevedet käsitellään Altian jätevedenpuhdistamolla. Raskasöljysäiliöiden lämmityshöyryn lauhde johdetaan sadevesiviemäriin öljynerotuskaivon kautta. Öljynerotuskaivo on varustettu täyttymisestä ilmoittavalla hälyttimellä. Voimalaitoksen piha-alueen hulevesiviemärit on varustettu öljynerottimilla ja sulkuventtiilikaivoilla.

Biohöyrykattilan pohja- ja lentotuhka hyödynnetään tuhkalannoitteena. Lakeuden Etappi loppusijoittaa kiertopetikattilan lento- ja pohjatuhkat. Varakattilan käytöstä syntyvä lentotuhka toimitetaan Ekokem Oyj:lle käsiteltäväksi.

### 4.2.3 Yhteenveto

PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Koskenkorvan voimalaitoksella on esitetty yhteenvetona taulukossa 19. Merkittävin muutos on varakattilan polttoaineen vaihtaminen. Varakattilan päästöjen laskemiseksi on olemassa muutamia eri polttoainevaihtoehtoja, joita tutkitaan luvussa 5.

*Taulukko 19. PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Koskenkorvalla.*

Kokonaisuus	Muutoskohteet	Toimenpiteet
10 MW biohöyrykattila	Opasiteetin mittaaminen	Jatkuvatoimisen opasiteetti-mittauksen lisääminen
20 MW kiertopetikattila	Hiilimonoksidin mittaaminen	Jatkuvatoimisen hiilimonoksidimittauksen lisääminen
15,5 MW varakattila	Rikkidioksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen
	Typenoksidipäästöt	Polttoaineen vaihtaminen
Varakattilan päivä säiliö	Vuotoilmaisin	Päivä säiliön poistaminen
Polttoöljyn purkualue	Asfaltin muotoilu	Asfaltin muotoileminen öljy-vuotojen ohjaamiseksi
Kiertopetikattilan kemikaalisäiliöt	Suoja-altaat	Suoja-altaiden lisääminen

### 4.3 Findest Protein Oy Kaustinen

STEP tuottaa Kaustisilla höyryä Findest Proteinin tehtaan tarpeisiin. Findest Protein Oy tuottaa prosessoitua eläinvalkuaista, joka on turkis- ja lemmikkieläinrehun raaka-aine, sekä eläinrasvaa, joka on biopolttoaineen raaka-aine. Tehtaan käyttämä höyry tuotetaan 4 megawatin biohöyrykattilalla ja 8 megawatin varakattilalla (kuva 17). Biohöyrylaitoksen vesi valmistetaan höyrylaitoksella kunnallisesta vesijohtovedestä.

#### 4.3.1 Kattilat

##### *4 MW biohöyrykattila*

Vuonna 2015 valmistunut höyryteholtaan 4 megawatin biohöyrykattila on pyörivä arinakattila, joka tuottaa 13 bar kylläistä höyryä. Kattilassa käytetään polttoaineina metsähaketta, sahanpurua, kuorta ja turvetta. Biohöyrykattila tuottaa valtaosan Findest Proteinin tehtaan käyttämästä höyrystä.

Biohöyrykattilassa poltettavat kiinteät polttoaineet toimitetaan rekoilla polttoaineen vastaanottiin. Kiinteä polttoaine siirretään kattilaan tankopurkainten, kolakuljettimien ja syöttöruuvien avulla. Kattilan savukaasut puhdistetaan multisyklonilla ja osa savukaasuista kierrätetään takaisin tulipesään lämpötilan säätämiseksi ja typen oksidien vähentämiseksi. Savukaasujen happi-, hiilimonoksidi- ja pölypitoisuutta ja lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti. Biohöyrykattilan savupiipun korkeus on 35 metriä ja kattilarakennus on 14 metriä korkea. Savupiipun korkeus täyttää PIPO:n kiinteää polttoainetta polttavan kattilan savupiipulle vaatiman 20 metrin korkeuden ja savupiippu on 2,5 kertaa kattilarakennuksen korkeinen kuten vaadittu.



*Kuva 17. Kaustisen laitoksen 4 MW biohöyrykattila (oik.) ja 8 MW varakattila (vas.).*

*Taulukko 20. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 4 MW biohöyrykattilalle ja biohöyrykattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset (100 % biomassa)	Mittaukset (100 % turve)
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	50	224–234	818–1627
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	440	650	234–242	449–525
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	650	67–89	523–526

Biohöyrykattila on monipolttoainekattila, joten päästöjen raja-arvot määräytyvät eri polttoaineiden raja-arvojen perusteella. Normaaliajossa 50 % energiasta saadaan turpeesta ja 50 % biomassasta. Polttoainejakauman ja PIPO:n ja MCP:n polttoainekohtaisten päästöraja-arvojen perusteella lasketut raja-arvot, ja biohöyrykattilan vuoden 2016 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 20. Ympäristöluvassa biohöyrykattilalle on määrätty PIPO:n raja-arvoja vastaavat päästöraja-arvot (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2014a).

Mittaustulosten mukaan biomassaa poltettaessa hiukkaspäästöjen PIPO:n ja MCP:n määrittämät raja-arvot ylittyvät, joten kattilan hiukkaspuhdistusta on parannettava. Muuten päästöraja-arvot täyttyvät biomassaa poltettaessa. Turvetta poltettaessa kaikki PIPO:n määrittämät raja-arvot ylittyvät, huomattavammin hiukkaspäästöt. Erityisesti multisyklonin toimintaa on parannettava, jotta hiukkaspäästöjen raja-arvoihin päästään. Palamisolosuhteita on lisäksi säädettävä ja on poltettava vähempirikkipitoista turvetta, jotta typen ja rikin oksidipäästörajat täyttyvät turpeella ajettaessa.

## **8 MW varakattila**

Höyryteholtaan 8 megawatin varakattila on tulitorvi-tuliputkikattila, joka tuottaa 10 bar kylläistä höyryä. Kattilan polttimen nimellisteho on 5 megawattia, mutta kattilaa käytetään höyryakkuna, jolloin siitä saadaan hetkellisesti noin 8 megawatin höyryteho. Varakattila käyttää polttoaineena nestekaasua ja kevyttä polttoöljyä. Varakattilaa käytetään höyryntuotantoon biohöyrykattilan vikatilanteiden ja huoltojen aikana.

Varakattilan käyttämä nestekaasu ja kevyt polttoöljy otetaan nestekaasu- ja kevytöljysäiliöistä. Varakattilassa on painehajotteinen Oilon GKP-500M -poltin. Varakattilan savukaasut johdetaan samaan savupiippuun biohöyrykattilan savukaasujen kanssa, mutta kattiloilla on erilliset savuhormit. Savupiipun korkeus täyttää PIPO:n kevyttä polttoöljyä ja nestekaasua polttavan kattilan savupiipulle vaatiman 20 metrin korkeuden ja on 2,5 kertaa kattilarakennuksen korkuinen.

PIPO:n ja MCP:n varakattilalle asettamat päästöraja-arvot ja vuonna 2015 tehdyt päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 21. Rikkidioksidipitoisuutta ei mitattu, mutta rikkidioksidipäästön voidaan olettaa olevan mitätön kevyellä polttoöljyllä ja nestekaasulla. Mittaustulosten mukaan varakattila täyttää sekä PIPO:n että MCP:n vaatimukset.

*Taulukko 21. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 8 MW varakattilalle ja varakattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO (LFO)	MCP (LFO)	Mittaukset (LFO)	PIPO (nestekaasu)	MCP (nestekaasu)	Mittaukset (nestekaasu)
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	-	<0,8	-	-	4,0
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	800	200	148	340	250	207
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	-	-	-	200	-

### 4.3.2 Muu toimintaympäristö

#### *Polttoaineiden varastointi ja käsittelyalueet*

Biohöyrykattilan kiinteiden polttoaineiden siilon purkupaikka on katettu ja siilo ja polttoainekuljettimien tilat on suljettu pölyämisen vähentämiseksi. Polttoainesiilot ja kuljettimet on varustettu kuivasprinkleriputkistoilla. Varakattilan käyttämä nestekaasu varastoidaan maapeitteisessä 49 m<sup>3</sup> kaasusäiliössä. Kevyt polttoöljy varastoidaan noin 25 m<sup>3</sup> säiliössä, jossa on 110 % valuma-allas ja erillinen varoallas, vuotoilmaisoin ja ylitäytönestoin. Kevyen polttoöljyn purkualue on asfaltoitu niin, että mahdollisen vuodon yhteydessä öljyä ei pääse maaperään tai pohjaveteen, vaan valuma ohjataan kaivon kautta hulevesiviemäriin, jossa on anturi joka havaitsee öljyvuodon. Öljyvuodon tapahtuessa purkualueen kaivon vesi ohjataan erilliseen vuotoaltaaseen.

#### *Kemikaalit*

Kattilalaitoksella käytetään kattilaveden käsittelyyn hapenpoistokemikaalia Amertrol 1240 ja ioninvaihtohartsin elvytykseen natriumkloridia. Amertrol varastoidaan 25 litran kanisterissa ilman suoja-allasta, joten suoja-allas on lisättävä. Hydrauliikkakoneikoilla on omat 100 % suoja-altaansa.

#### *Vesien ja jätteiden käsittely*

Biohöyrykattilan ja varakattilan käyttämä vesi otetaan alueen kunnallisesta vesijohtojärjestelmästä. Jätevedet puhdistetaan Findest Proteinin vedenkäsittelyssä. Ne viemärit, joihin voi päästä öljyä, on varustettu hiekan- ja öljynerotuskaivoilla. Öljynerotuskaivojen hiiliveitypitoisuutta seurataan. Alueen hulevedet johdetaan hulevesiviemäriin ja sieltä sadevesiviemäriin. Hulevesiviemäriissä on öljynerotuskaivo ja sulkuventtiilikaivo. Biohöyrykattilan käytöstä syntyvä pohja- ja lentotuhka siirretään kuljettimilla yhteiseen tuhkakonttiin. Tuhka välivarastoidaan tuulelta suojattuun varastoon ja sen hyötykäyttömahdollisuuksia maanrakennusaineena selvitetään.

### 4.3.3 Yhteenveto

Taulukossa 22 on esitetty yhteenvetona PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Kaustisen biohöyrylaitoksella. Merkittävin muutos liittyy multisyklonin toiminnan parantamiseen, joka toteutetaan lisäämällä kiertokaasulinja ottamaan savukaasua savukaasupuhaltimen jälkeen ja kierrättämällä sitä multisyklonin eteen. Tällöin multisyklonin läpi virtaavan savukaasun tilavuusvirta on riittävä syklonin toiminnan varmistamiseksi myös alemmilla tehoilla ajettaessa.

*Taulukko 22. PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Kaustisilla.*

Kokonaisuus	Muutoskohteet	Toimenpiteet
4 MW biohöyrykattila	Hiukkaspäästöt	Multisyklonin toimivuuden parantaminen
	Typenoksidipäästöt	Palamisolosuhteiden säätö turveajolla
	Rikin oksidipäästöt	Vähärikkisen turpeen käyttäminen
Kemikaalisäiliö	Suoja-allas	Suoja-altaan lisääminen

## 4.4 Hankkija Oy Seinäjoki

STEP tuottaa höyryä ja kaukolämpöä Hankkijan Seinäjoen tehtaalle (kuva 18). Hankkija Oy valmistaa sika-, nauta-, hevos- ja siipikarjarehua. Tehtaan käyttämä höyry ja kaukolämpö tuotetaan 2,5 megawatin biohöyrykattilalla ja 3 megawatin varakattilalla. Biohöyrylaitoksen vesi valmistetaan höyrylaitoksella kunnallisesta vesijohtovedestä.

### 4.4.1 Kattilat

#### *2,5 MW biohöyrykattila*

Vuonna 2015 valmistunut höyryteholtaan 2,5 megawatin biohöyrykattila on arinakattila, joka tuottaa 10 bar kylläistä höyryä. Kattilassa käytetään polttoaineina Hankkijan prosessissa sivutuotteena syntyvää kaurankuorta, metsähaketta ja turvetta. Biohöyrykattila tuottaa valtaosan Hankkijan tehtaan käyttämästä höyrystä.

Biohöyrykattilassa poltettava metsähakkeen ja turpeen polttoaineseos toimitetaan rekoilla polttoaineen vastaanottosiiloon, josta polttoaineseos siirretään kattilarakennukseen tankopurkainten ja kolakuljettimien avulla. Kaurankuori puhalletaan paineilmalla tehtaalta kaurankuorisiiloihin, joista sitä lisätään kolakuljettimella liikkuvan turpeen ja metsähakkeen seoksen päälle. Polttoaineseos syötetään arinalle syöttöruuveilla. Kattilan savukaasut puhdistetaan multisyklonilla ja osa savukaasuista kierrätetään takaisin tulipesään lämpötilan säätämiseksi ja typen oksidien vähentämiseksi. Savukaasujen happi- ja pölypitoisuutta sekä lämpötilaa mitataan jatkuvatoimisesti.



*Kuva 18. Hankkija Oy:n rehutehdas Seinäjoella.*

*Taulukko 23. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 2,5 MW biohöyrykattilalle ja biohöyrykattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	50	56–165
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	417	650	300–403
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	299	497	273–297

Biohöyrykattilan ja varakattilan savukaasut johdetaan yhteisessä savuhormissa tehtaan savupiippuun, jonka korkeus on 56 metriä korkea. Laitoksen lähin este on 52 metriä korkea. PIPO-asetus vaatii, että kiinteää polttoainetta polttavan kattilan piipun korkeus on vähintään 30 metriä ja että piippu mitoitetaan leviämismallilaskelmalla, kun alle 500 metrin etäisyydellä on yli 30 metriä korkea este. Leviämismallilaskelman tulosten mukaan päästöistä ei aiheudu ihmisille terveydellistä haittaa tai huomattavaa lisääntymistä, joten 56 metrin piipunkorkeus on hyväksytty kattilan ympäristöluvassa (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2014b).

Biohöyrykattila on monipolttoainekattila, joten päästöjen raja-arvot määräytyvät eri polttoaineiden raja-arvojen perusteella. Normaaliajossa noin 33 % energiasta saadaan turpeesta ja 67 % biomassasta. Polttoainejakauman ja PIPO:n ja MCP:n polttoainekohtaisten päästöraja-arvojen perusteella lasketut raja-arvot ja biohöyrykattilan vuosien 2016 ja 2017 päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 23. PIPO:n raja-arvot vastaavat biohöyrykattilan ympäristöluvassa kattilalle määrättyjä raja-arvoja (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2014b). Mittaustulosten mukaan biohöyrykattilan päästöt täyttävät ympäristöluvassa määritetyt raja-arvot. Biohöyrykattilan hiukkaspäästöt ylittävät MCP:n määräämän hiukkaspäästörajan, joten hiukkaspuhdistusta on tehostettava ennen MCP:n voimaantuloa.

### **3 MW varakattila**

Höyryteholtaan 3 megawatin Steam 4000 höyrynkehitin on vesiputkirakenteinen läpivirtauskattila, jota käytetään varakattilana ja joka tuottaa 10 bar kylläistä höyryä. Varakattila käyttää polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Varakattilaa käytetään höyryntuotantoon biohöyrykattilan vikatilanteiden ja huoltojen aikana.

Varakattilan käyttämä kevyt polttoöljy otetaan kevytöljysäiliöstä. Varakattilassa on painehajotteinen Oilon KP-300M-II -poltin. Varakattilan ja biohöyrykattilan savukaasut johdetaan samaan savupiippuun samassa savuhormissa. Savupiipun 56 metrin korkeus täyttää PIPO:n vaatiman 20 metrin korkeuden. Kuten biohöyrykattilan kohdalla todettiin, leviämismallilaskelman tulosten mukaan päästöistä ei aiheudu ihmisille terveydellistä haittaa tai huomattavaa lisääntymistä lähiesteestä huolimatta, joten piipunkorkeus on hyväksytty kattilan ympäristöluvassa (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2014b).



*Taulukko 24. PIPO:n ja MCP:n asettamat päästöraja-arvot 3 MW varakattilalle ja varakattilan päästömittaustulokset.*

	PIPO	MCP	Mittaukset
Hiukkaset [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	-	2,5
Typen oksidit [mg/Nm <sup>3</sup> ]	800	200	223
Rikkidioksidi [mg/Nm <sup>3</sup> ]	350	-	0

PIPO:n ja MCP:n varakattilalle määraamät päästöraja-arvot ja vuoden 2016 päästömittaustulokset näkyvät taulukossa 24. Tulosten mukaan varakattilan päästöt täyttävät PIPO:n päästöraja-arvot, mutta typenoksidipäästöt ylittävät MCP:n päästöraja-arvon, joten poltinta on tarpeen säätää ennen MCP:n voimaantuloa.

#### **4.4.2 Muu toimintaympäristö**

##### ***Polttoaineiden varastointi ja käsittelyalueet***

Biohöyrykattilan kiinteiden polttoaineiden siilon purkupaikka on katettu ja siilo ja polttoainekuljettimien tilat on suljettu pölyämisen vähentämiseksi. Kaurankuoren varastointiin käytetään 35 m<sup>3</sup> ja 100 m<sup>3</sup> siiloja. Kaurankuori siirretään Hankkijan tehtaalta siiloihin pneumaattisesti suljetun putkiston kautta. Kaurankuorisiilojen ja polttoainekuljettimien palojen sammuttaminen perustuu palokunnan syöttöyhteisiin. Varakattilan käyttämä kevyt polttoöljy varastoidaan noin 25 m<sup>3</sup> kaksoisvaippasäiliössä, jossa on vuotoilmaisim ja ylitäytönestim. Kevyen polttoöljyn purkualue on asfaltoitu tiiviisti, mutta sitä ei ole muotoiltu ottaen huomioon mahdolliset öljyvuodot.

##### ***Kemikaalit***

Kattilalaitoksella käytetään kattilaveden käsittelyyn hapenpoistokemikaalia Boilex E460C ja ioninvaihtohartsin elvytykseen natriumkloridia. Boilexia varastoidaan 25 litran kanisterissa ilman suoja-allasta, joten suoja-allas on lisättävä. Hydraulikkakoneikoista toisella on oma 100 % suoja-allas, mutta toisella ei ole ja se on lisättävä.

##### ***Vesien ja jätteiden käsittely***

Kattiloiden käyttämä vesi otetaan kunnallisesta vesijohtojärjestelmästä. Jätevedet käsitellään kunnallisessa jätevesipuhdistamossa ja alueen hulevedet johdetaan kunnalliseen viemäriverkostoon. Kattilalaitoksen viemäreissä on sulkuventtiilit öljyvuotojen varalta, mutta vuodoista kertovat hälytykset puuttuvat. Ulkona sijaitsevilla viemäreillä ei ole öljynerotuskaivoja. Biohöyrykattilan käytöstä syntyvä pohja- ja lentotuhka siirretään kuljettimilla yhteiseen tuhkakonttiin. Tuhka välivarastoidaan tuulelta suojattuun varastoon ja sitä käytetään maanrakennusaineena.

#### 4.4.3 Yhteenveto

Taulukossa 25 on esitetty yhteenvetona PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Seinäjoen biohöyrylaitoksella. Kaikki vaaditut muutokset ovat suhteellisen yksinkertaisia toteuttaa.

*Taulukko 25. PIPO-asetuksen vaatimat muutokset Seinäjoella.*

Kokonaisuus	Muutoskohteet	Toimenpiteet
Polttoöljyn purkualue	Asfaltointi	Asfaltin muotoileminen öljyvuotojen ohjaamiseksi
	Öljynerotuskaivo	Öljynerotuskaivon ja sulkuventtiilillisen näytteenotto-kaivon lisääminen
Kemikaalisäiliö	Suoja-allas	Suoja-altaan lisääminen
Hydrauliikkakoneikko	Suoja-allas	Suoja-altaan lisääminen
Kattilalaitoksen viemärit	Öljyvuotohälytys	Hälytysten lisääminen

## 5 STEPin kohteiden skenaariot

Kuten luvun 4 yhteenvedotaulukoista nähdään, PIPO:n asettama rikkidioksidin päästöraja-arvo aiheuttaa STEPin kohteissa suurimmat vaaditut muutokset. Erityisen suuria muutoksia on tehtävä Harjavallassa, jossa suurin osa energiantuotantoyksiköistä käyttää polttoaineena raskasta polttoöljyä, sekä Koskenkorvalla, jonka vara-kattilassa poltetaan raskasta polttoöljyä. Rikkidioksidipäästöjen vähentämiseksi vaihtoehtoina on polttoaineen vaihtaminen vähemmän rikkipitoiseen tai savukaasujen rikkidioksidin puhdistaminen. Rikkidioksidin puhdistaminen tapahtuu alle 30 megawatin kokoluokassa käytännössä rikkipesurilla. Polttoaineen vaihtamiseen sopivat neste- ja kaasumaiset polttoainevaihtoehdot ovat vähempi-rikkiset raskaat polttoöljyt, kevyt polttoöljy, raskaan ja kevyen polttoöljyn seos, pyrolyysiöljy, maakaasu ja nestekaasu.

Tässä luvussa käsitellään case-tyyppisesti STEPin Harjavallan ja Koskenkorvan laitoksia, esittelemällä eri skenaarioita, joiden myötä rikkidioksidipäästöt saadaan putoamaan vaadituille tasoille. Eri skenaarioista esitellään kohteeseen teknisesti tehtävät muutokset, sekä teollisuudenalalle tyypillisiä muuttuvien kustannusten ja investointikustannusten tietoja. Kustannustiedot on esitetty kaavioina luvussa ja taulukoituina liitteissä 3 ja 4. Skenaarioiden perusteella tehdään Harjavallan ja Koskenkorvan osalta erikseen vertailut eri vaihtoehdoista ja tuloksia käsitellään luvussa 6.

### 5.1 Harjavalta

Harjavallan vaihtoehtoiksi valikoitui yhdeksän eri skenaariota

- rikkipitoisuudeltaan 1 % raskas polttoöljy ja rikkipesuri
- 0,5 % raskas polttoöljy ja rikkipesuri
- 0,1 % raskas polttoöljy
- kevyt polttoöljy
- 1 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seos
- 0,5 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seos
- pyrolyysiöljy
- nesteytetty maakaasu
- nestekaasu.

STEPin tulistuskattilan käyntituntien arveltiin pysyvän vuodesta 2018 eteenpäin suunnitteen samanalaisina kuin nykyään, eli noin 500 tuntia vuodessa. Muiden kattiloiden käyntitunteiksi arvioitiin vuodesta 2018 eteenpäin noin 350 tuntia vuodessa, koska rikkihappotehtailla ja lämmöntalteenottokattiloilla on noin 2 viikkoa vika- ja huoltojaksoja vuodessa. Kuumavesikattilat päädyttiin poistamaan käytöstä kokonaan. Näin ollen vuotuiseksi energiantuotantomääräksi saadaan noin 27 GWh.

Analyysissä käytetään investointien poistoaikana pääosin 15 vuotta vuodesta 2018. Apu-, höyrystys- ja tulistuskattiloihin tehtävissä investoinneissa käytetään poistoaikana seitsemän vuotta, koska kattiloiden käyttöikä päättyy vuoden 2024 loppuun.

Polttoaineiden hintoihin vaikuttavien päästöoikeuksien hinnoiksi käytetään analyysissä 6 €/tnCO<sub>2</sub>. Polttoaineiden hintoihin vaikuttavissa veroissa on otettava huomioon, että sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa (CHP, engl. *Combined Heat and Power*), kuten Harjavallassa, hiilidioksidivero on puolet normaalista poltettaessa raskasta polttoöljyä, kevyttä

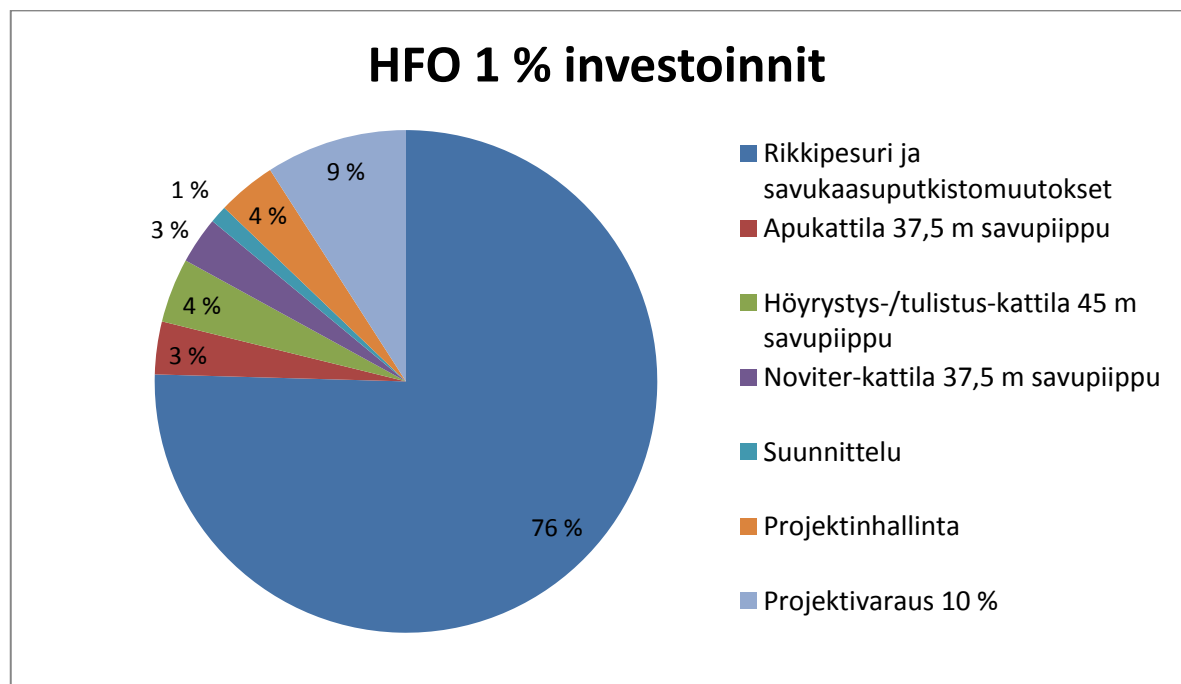
polttoöljyä, biopolttoöljyä, maakaasua, nestekaasua tai kivihiihtä. Lisäksi kokonaisvero määräytyy sen lämpömäärän perusteella, joka saadaan kerrottuna kulutukseen luovutettu hyötylämpömäärä kertoimella 0,9. Jos arvioidaan Harjavallan kokonaishyötysuhteeksi noin 80 %, niin kerrottuna 0,9:llä saadaan verollisten polttoaineiden osuudeksi noin 70 %, jota on käytetty analyysissä.

### 5.1.1 1 % Raskas polttoöljy

#### *Investoinnit*

Rikkipitoisuudeltaan 1 % raskaan polttoöljyn skenaariossa nykyisen polttoaineen käyttö jatkuu entisellään, joten myös kattiloiden rikkidioksidipäästöt säilyvät samalla tasolla. Tämän vuoksi skenaariossa on tarpeen hankkia rikinpuhdistuslaitteisto savukaasuille. Rikinpoisto tapahtuu rikkipesurilla, johon eri kattiloiden savukaasut johdetaan. Rikkipesurien erotusaste on yli 95 %, joten pestyjen savukaasujen rikkipitoisuus jää alle PIPO:n asettaman raja-arvon (Raiko et al. 2002, 350). Lisäksi HFO 1 % poltettaessa PIPO vaatii, että apu-, höyrystys-, tulistus- ja Noviter-kattilan savupiippuja on korotettava. Käytännössä savupiippujen korottaminen on vaikeaa, eli tämä tarkoittaisi pahimmassa tapauksessa uusien savupiippujen hankkimista.

HFO 1 % käytön jatkamiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 19 ja taulukoitu liitteessä 3. Rikkipesuri-investoinnin ja savupiippujen hinnat perustuvat arvioihin. Yhteensä investoinniksi saadaan 2 651 000 €.



Kuva 19. 1 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

## ***Muuttuvat kustannukset***

Vuotuiset muuttuvat kustannukset muodostuvat polttoaine- ja päästöoikeuskustannuksista muodostuvista tuotantokustannuksista ja huolto- ja käyttökustannuksista. Muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Kun HFO 1 % verottomaksi hinnaksi asetetaan nykyisen raakaöljyn hinnan perusteella arvioitu tyypillinen hinta 300 €/tn, niin verot, päästöoikeuksien hinta ja 87 % hyötysuhde huomioituna tuotantokustannuksiksi saadaan 44,75 €/MWh, joka 27 GWh vuosikulutuksella tarkoittaa noin 1 195 000 € vuotuisia tuotantokustannuksia.

Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat rikkipesurin käyttökustannuksista, joiksi arvioidaan noin 200 000 € vuodessa, sekä kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, joiksi arvioidaan noin 135 000 € vuodessa. Yhteensä huolto- ja käyttökustannuksiksi saadaan siis 335 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat näin ollen yhteensä noin 1 530 000 €.

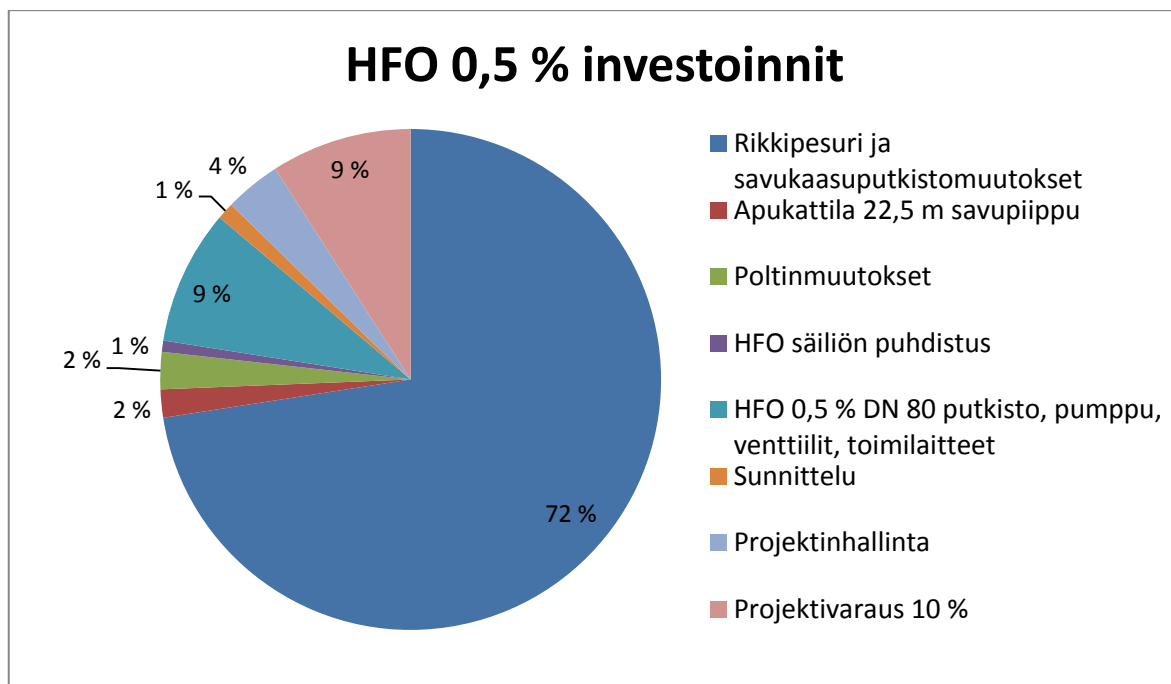
### **5.1.2 0,5 % Raskas polttoöljy**

#### ***Investoinnit***

0,5 % raskaan polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan rikkipitoisuudeltaan puolet pienempään HFO 0,5 %. Polttoaineen vaihdon myötä myös rikkidioksidipäästöt puolittuvat noin 760 mg/Nm<sup>3</sup> arvoon, mikä on yli PIPO:n asettaman raja-arvon, joten skenaario vaatii yhtä lailla rikkipesurin rikkidioksidin puhdistamiseksi. PIPO vaatii, että apukattilan savupiippua on korotettava kun kattiloilla poltetaan HFO 0,5 %.

Teknisistä syistä olemassa olevia öljypolttimia on lisäksi viritettävä, HFO 1 % säiliö on muutettava HFO 0,5 % sopivaksi puhdistamalla se ennen täyttämistä ja HFO 0,5 % siirtämiselle on rakennettava oma, noin 550 metriä pitkä eristetty ja saattolämmitetty DN 80 putkisto pumppuineen, venttiileineen ja toimilaitteineen HFO-säiliöltä voimalaitokselle. Uusi putkisto on rakennettava, sillä vanhasta putkistosta virtaa öljy myös BOHA:lle, joka jatkaa HFO 1 % käyttöä vuoden 2017 jälkeenkin.

Kuvassa 20 näkyvät HFO 0,5 % käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit, jotka on taulukoitu liitteessä 3. Rikkipesuri-investoinnin kustannukset ovat vastaavat kuin HFO 1 % skenaariossa. Apukattilan savupiipun kustannus ja HFO-säiliön puhdistuskustannus pohjautuvat arvioihin. Poltinmuutosten kokonaiskustannus perustuu poltintoimittajien arvioihin. Putkiston kokonaiskustannus pohjautuu putken kokonaismetrixintaan, pituuteen, sekä venttiilien ja laitteiden määrään ja hintoihin. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 2 757 000 €, eli noin 100 000 € enemmän kuin HFO 1 %.



Kuva 20. 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

HFO 0,5 % käytön vuosittaiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. HFO 0,5 % on pidemmälle jalostettuna tuotteena kalliimpaa kuin HFO 1 %. Kun verottomaksi hinnaksi asetetaan tyypillinen hinta 350 €/tn, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 49,22 €/MWh, joka 27 GWh vuosikulutuksella tarkoittaa noin 1 315 000 € vuotuisia tuotantokustannuksia.

Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat rikkipesurin käyttökustannuksista, joiksi arvioidaan HFO 1 % skenaarion tavoin 200 000 € vuodessa, sekä kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, joiksi arvioidaan noin 125 000 € vuodessa. HFO 0,5 % on yksiprosenttista öljyä juoksevampaa, joten sitä tarvitsee lämmittää vähemmän ja sen puhdistaminen on helpompaa, mikä näkyy hieman yksiprosenttista alhaisempina kunnossapito- ja lämmityskustannuksina. Yhteensä huolto- ja käyttökustannuksiksi saadaan 325 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat näin ollen noin 1 640 000 €, eli noin 100 000 € enemmän kuin HFO 1 %, johtuen polttoaineen korkeammasta hinnasta.

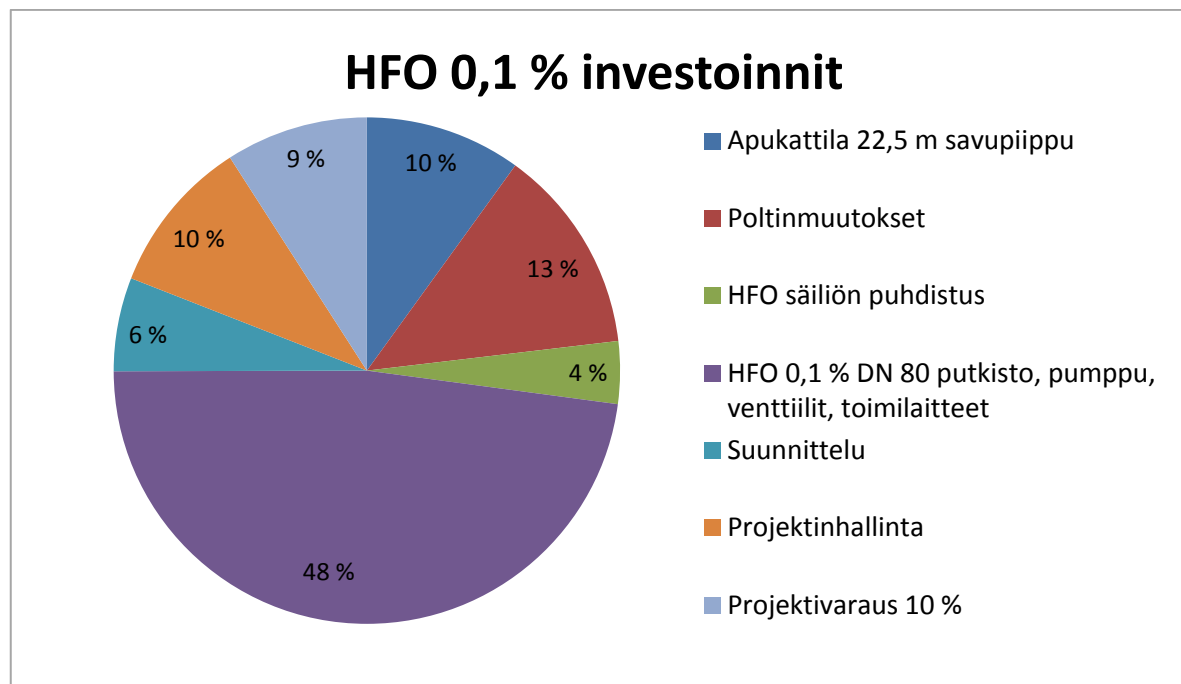
### **5.1.3 0,1 % Raskas polttoöljy**

#### ***Investoinnit***

0,1 % raskaan polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % korvataan HFO 0,1 %, jonka rikkipitoisuus on siis kymmenesosa nykyisen öljyn rikkipitoisuudesta. Vaihto vähärikkisempään polttoaineeseen vähentää rikkidioksidipäästöt arviolta 150 mg/Nm<sup>3</sup> arvoon, joka täyttää PIPO-asetuksen vaatiman 350 mg/Nm<sup>3</sup> raja-arvon. Lisäksi HFO 0,1 % aiheuttaa juoksevamman koostumuksensa ja alhaisemman kiintoainepitoisuutensa vuoksi vähemmän hiukkaspäästöjä, joten skenaariossa vältetään höyrystys- ja tulistuskattilan multisyklonin tarve. Typenoksidipäästöt vähenevät myös hallitumman palamisen ansiosta.

PIPO vaatii 0,1 % raskasta polttoöljyä poltettaessa HFO 0,5 % tavoin, että apukattilan savupiippua on korotettava. Lisäksi kuten HFO 0,5 % skenaariossa, öljypolttimia on viritettävä, HFO 1 % säiliö on muutettava puhdistamalla HFO 0,1 % sopivaksi ja HFO 0,1 % siirtämiselle on rakennettava oma noin 550 metriä pitkä eristetty ja saattolämmitetty DN 80 putkisto pumppuineen, venttiileineen ja toimilaitteineen HFO-säiliöltä voimalaitokselle.

HFO 0,1 % käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 21 ja taulukoitu liitteessä 3. Investointikustannukset vastaavat HFO 0,5 % investointikustannuksia, mutta HFO 0,1 % osalta rikkipesuriin ei ole tarvetta investoida. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 502 000 €, mikä on huomattavasti vähemmän kuin rikkipitoisuudeltaan korkeampien öljyjen vaatimat investoinnit.



Kuva 21. 0,1 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

HFO 0,1 % vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. HFO 0,1 % on huomattavasti kalliimpaa kuin HFO 1 %. Kun verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 390 €/tn, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 52,01 €/MWh, vastaten 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 389 000 € vuotuista kustannusta.

Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat HFO 0,1 % skenaariossa kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, arviolta noin 120 000 € vuodessa. HFO 0,1 % on vielä 0,5 % raskasta polttoöljyäkin juoksevampaa, joten lämmitystarpeen ja puhdistamiskulujen väheneminen alentaa hieman kunnossapito- ja lämmityskustannuksia. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat näin yhteensä noin 1 509 000 €, eli samaa luokkaa HFO 1 % kanssa, johtuen toisaalta HFO 0,1 % kalliimmasta polttoaineesta, mutta toisaalta HFO 1 % rikkipesurin kustannuksista.

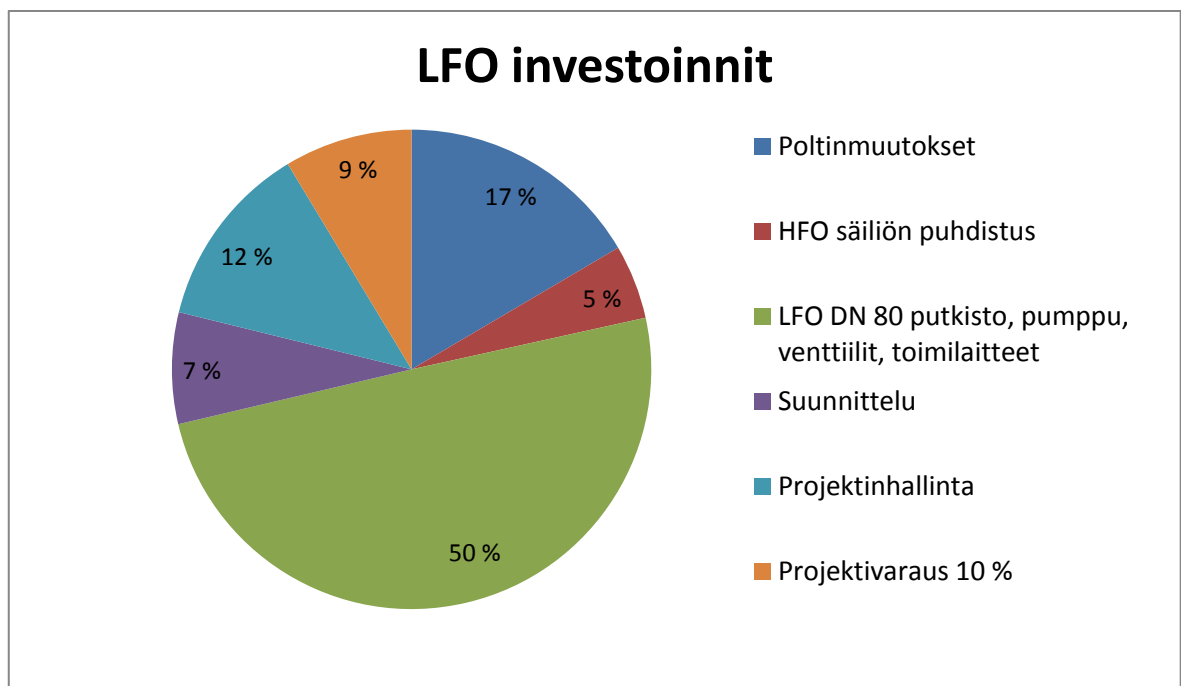
#### 5.1.4 Kevyt polttoöljy

##### *Investoinnit*

Kevyen polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % korvataan kevyellä polttoöljyllä, jonka rikkipitoisuus on alle 0,001 %. LFO:n rikkipäästöt täyttävät PIPO:n ja MCP:n asettamat raja-arvot ongelmitta. Lisäksi kattiloiden hiukkaspäästöt alenevat alhaisemman kiintoainepitoisuuden ja polttoaineen alhaisen viskositeetin ansiosta murto-osaan HFO 1 % verrattuna ja myös typenoksidipäästöt vähenevät hallitumman palamisen myötä.

PIPO ei vaadi kevyeen polttoöljyyn vaihdettaessa muita muutoksia. Teknisesti LFO siirtyminen vaatii kuitenkin öljypolttimien virityksen, HFO 1 % säiliön puhdistamisen LFO varten ja noin 550 metriä pitkän DN 80 siirtoputkiston pumppuineen, venttiileineen ja toimilaitteineen LFO säiliöksi muutetulta, nykyiseltä HFO säiliöltä voimalaitokselle.

LFO:n käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 22 ja taulukoitu liitteessä 3. Investoinnit vastaavat HFO 0,1 % investointeja, mutta apukattilan piippua ei tarvitse korottaa ja LFO:n putkisto on halvempi, sillä se ei vaadi lämmitystä tai eristystä. Yhteensä investointi on noin 379 000 €, eli noin 100 000 € HFO 0,1 % vähemmän.



Kuva 22. Kevyen polttoöljyn skenaarion investoinnit.

##### *Muuttuvat kustannukset*

Kevyen polttoöljyn vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. LFO on pidemmälle jalostettuna kalliimpaa kuin HFO 0,1 %. Kun verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 0,35 €/l, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 56,80 €/MWh, joka vastaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 517 000 € vuotuista kustannusta. Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat LFO skenaariossa pelkistä kunnossapitokustannuksista, eli noin 115 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat näin yhteensä noin 1 632 000 €, eli noin 120 000 € vuodessa enemmän kuin HFO 0,1 %.



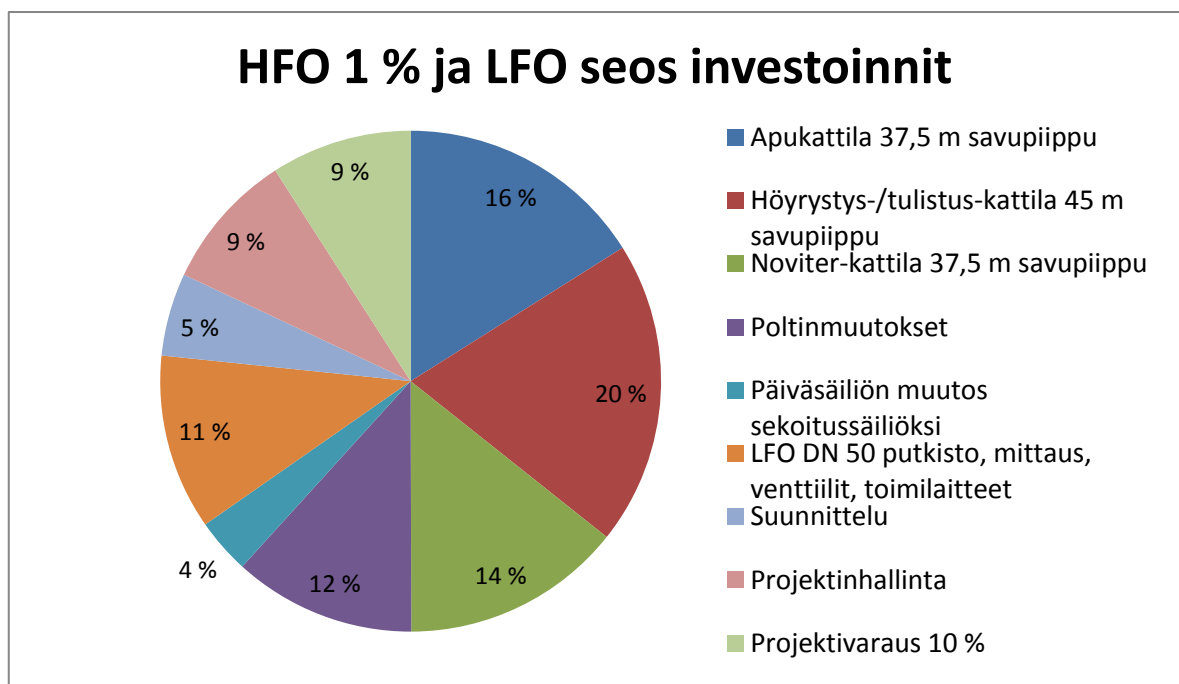
### 5.1.5 1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seos

#### *Investoinnit*

1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaariossa nykyinen HFO 1 % pidetään käytössä nykyisillä säiliöillä ja putkistoilla ja LFO otetaan BOHA:n LFO-putkesta. Öljyt sekoitetaan päiväsäiliöissä, joihin lisätään öljyn kiertoputket ja kiertopumput, jotka sekoittavat raskaan ja kevyen öljyn toisiinsa. Polttoaineiden seossuhde valitaan niin, että PIPO:n asettama rikkidioksidin raja-arvo täyttyy. Käytännössä raja-arvoon päästään, jos massavirrasta 20 % on HFO:ta ja 80 % LFO:ta. Seoksen käytön myötä myös hiukkas- ja typenoksidipäästöt vähenevät.

PIPO vaatii seoksessa olevan HFO 1 % käytön myötä apu-, höyrystys-, tulistus- ja Noviter-kattilan savupiippujen korotuksen. Teknisinä vaatimuksina öljypolttimia on viritettävä, päiväsäiliö on muutettava sekoitussäiliöksi ja BOHA:n kevyen polttoöljyn putkesta on rakennettava noin 100 metriä pitkä DN 50 putkisto virtausmittauksella ja toimilaitteineen LFO:n siirtämiseksi voimalaitokselle.

Kuvassa 23 näkyvät HFO 1 % ja LFO seoksen käyttämiseen vaaditut investoinnit. Investoinnit on myös taulukoitu liitteessä 3. Savupiippujen kustannukset vastaavat HFO 1 % skenaariota ja öljypoltinsäätöjen kustannukset HFO 0,5 % ja 0,1 % skenaarioita. Päiväsäiliön muutoksen investointikustannus on arvio, ja putkistoinvestointi muodostuu putkiston kokonaismetrihinnasta ja pituudesta, sekä virtausmittauksen, toimilaitteiden ja venttiilien hinta-arvioista. Yhteensä investointien hinnaksi saadaan noin 560 000 €.



Kuva 23. 1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

HFO 1 % ja LFO seoksen vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Tuotantokustannukseksi muodostuu HFO 1 % ja LFO tuotantokustannusten perusteella ja 20 % HFO/80 % LFO seossuhteella laskettu 54,39 €/MWh, joka tarkoittaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 452 000 € vuotuista kustannusta.

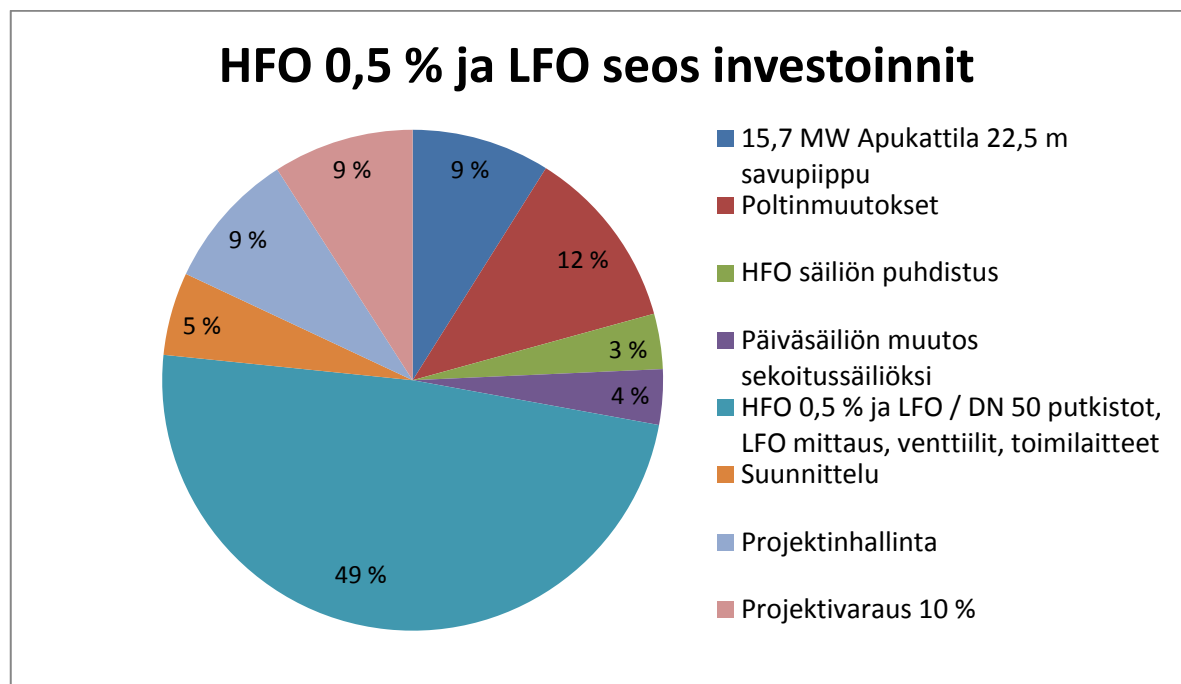
Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, arviolta noin 125 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat yhteensä noin 1 577 000 €, eli vähemmän kuin LFO ja enemmän kuin HFO 0,1 %.

#### **5.1.6 0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seos**

##### ***Investoinnit***

0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan HFO 0,5 % ja LFO otetaan BOHA:n kevyen polttoöljyn putkesta. Öljyt sekoitetaan päiväsäiliössä HFO 1 % ja LFO seoksen tavoin. Polttoaineiden seossuhde valitaan myös tässä skenaariossa niin, että PIPO:n asettama rikkidioksidin raja-arvo täyttyy. Raja-arvoon päästään siten, että massavirrasta 40 % on HFO:ta ja 60 % LFO:ta.

PIPO vaatii seoksessa olevan HFO 0,5 % käytön myötä apukattilan savupiipun korotuksen. Teknisiä vaatimuksia ovat öljypoltinten säätö, HFO 1 % säiliön puhdistus HFO 0,5 % varten, päiväsäiliön muuttaminen sekoitussäiliöksi, noin 100 metriä pitkän putkiston rakentaminen BOHA:n kevyen polttoöljyn putkesta virtausmittaukseen ja toimilaitteineen LFO:n siirtämiseksi, sekä noin 550 metriä pitkän eristetyin ja saattolämmitetyn putkiston rakentaminen öljypumppuineen, venttiileineen ja toimilaitteineen HFO 0,5 % siirtämiseksi HFO säiliöltä voimalaitokselle.



*Kuva 24. 0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion investoinnit.*

HFO 0,5 % ja LFO seoksen käyttämiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 24 ja taulukoituna liitteessä 3. Polttimien säätöjen kustannus, HFO 1 % säiliön puhdistuskustannus ja päivä säiliön sekoituksen lisäämisen kustannus ovat edellisiä skenaarioita vastaavia. Putkistoinvestoinnit muodostuvat putkistojen kokonaismetrihinnoista ja pituuksista, sekä virtausmittauksen, öljypumpun, venttiilien ja toimilaitteiden hinta-arvioista. Yhteensä investointien hinnaksi saadaan noin 560 000 €, eli käytännössä yhtä paljon kuin HFO 1 % ja LFO seokselle.

### ***Muuttuvat kustannukset***

HFO 0,5 % ja LFO seoksen vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Tuotantokustannukseksi muodostuu HFO 0,5 % ja LFO tuotantokustannusten perusteella ja 40 % HFO/60 % LFO seossuhteella 53,77 €/MWh, joka vastaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 436 000 € vuotuista kustannusta.

Huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, arviolta noin 120 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat yhteensä noin 1 556 000 €, eli noin 20 000 € vuodessa vähemmän kuin HFO 1 % ja LFO seoksella.

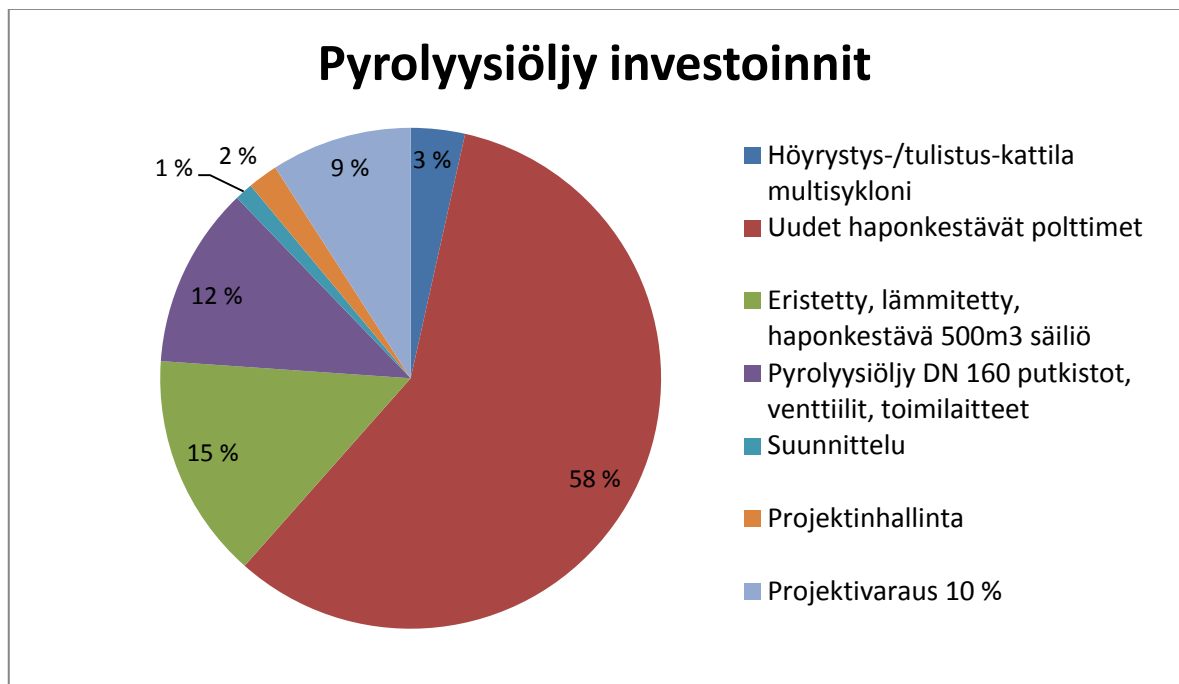
## **5.1.7 Pyrolyysiöljy**

### ***Investoinnit***

Pyrolyysiöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan pyrolyysiöljyyn, jonka rikkipitoisuus on alle 0,05 %. Pyrolyysiöljyn myötä kattiloiden rikkipäästöt laskevat PIPO:n raja-arvon alle, mutta hiukkas- ja typenoksidipäästöt säilyvät HFO 1 % vastaavina. Pyrolyysiöljy sisältää 20–30 % vettä ja sen happamuus on 2–3 pH, mikä aiheuttaa vaatimuksia putkistojen, säiliön ja poltinten materiaalien suhteen. Vesisisällön vuoksi pyrolyysiöljyn lämpöarvo on raskasta polttoöljyä huomattavasti alhaisempi, noin 14–18 MJ/kg, joten siirtoputkistojen on oltava HFO:n siirtoputkia suurempia. Lisäksi pyrolyysiöljyä on sekoitettava, jotta se säilyy yhdessä faasissa ja pyrolyysiöljyn koostumus muuttuu ajan myötä käyttökelpottomaksi. (Lehto et al. 2013).

PIPO:n vaatimusten mukaan höyrystys- ja tulistuskattilan hiukaspäästöjä on puhdistettava esimerkiksi multisyklonilla kun kattiloilla poltetaan pyrolyysiöljyä. Pyrolyysiöljy vaatii teknisestä näkökulmasta olemassa olevien öljypoltinten uusimisen haponkestäviksi, haponkestävästä materiaalista tehdyn eristetyin ja lämmitetyn 500 m<sup>3</sup> varastosäiliön, jossa on sekoitus, sekä noin 550 metriä pitkän DN 160 haponkestävän ja saattolämmitetyn putkiston pumppuineen, venttiileineen ja toimilaitteineen. Uusi pyrolyysiöljysäiliö sijoitetaan nykyisten öljysäiliöiden alueelle, josta putkisto kulkee voimalaitokselle.

Investoinnit, joita pyrolyysiöljyn käyttöön vaaditaan, on esitetty kuvassa 25 ja taulukoituna liitteessä 3. Multisyklonin hinta muodostuu laitteen hinnasta, noin 2000 €/MW, ja asennuskustannuksesta, 40 000 € (Ohlström et al. 2005, 31). Uusien poltinten kokonaiskustannusarvio on laskettu poltintoimittajilta saatujen poltinkohtaisten kustannusarvioiden perusteella. Säiliöinvestoinnin suuruus perustuu referenssihintaan (Green Fuel Nordic Oy 2013). Putkiston kokonaiskustannus pohjautuu putken kokonaismetrihintaan, pituuteen, sekä venttiilien ja laitteiden määrään ja hintoihin. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 2 576 000 €, eli lähes 200 000 € vähemmän kuin HFO 1 %.



Kuva 25. Pyrolyysiöljyn skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Pyrolyysiöljyn vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Pyrolyysiöljy on verotonta. Kun pyrolyysiöljyn hintana pidetään tyypillistä hintaa 45 €/MWh<sub>pa</sub>, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 51,72 €/MWh, joka vastaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 381 000 € vuotuista kustannusta.

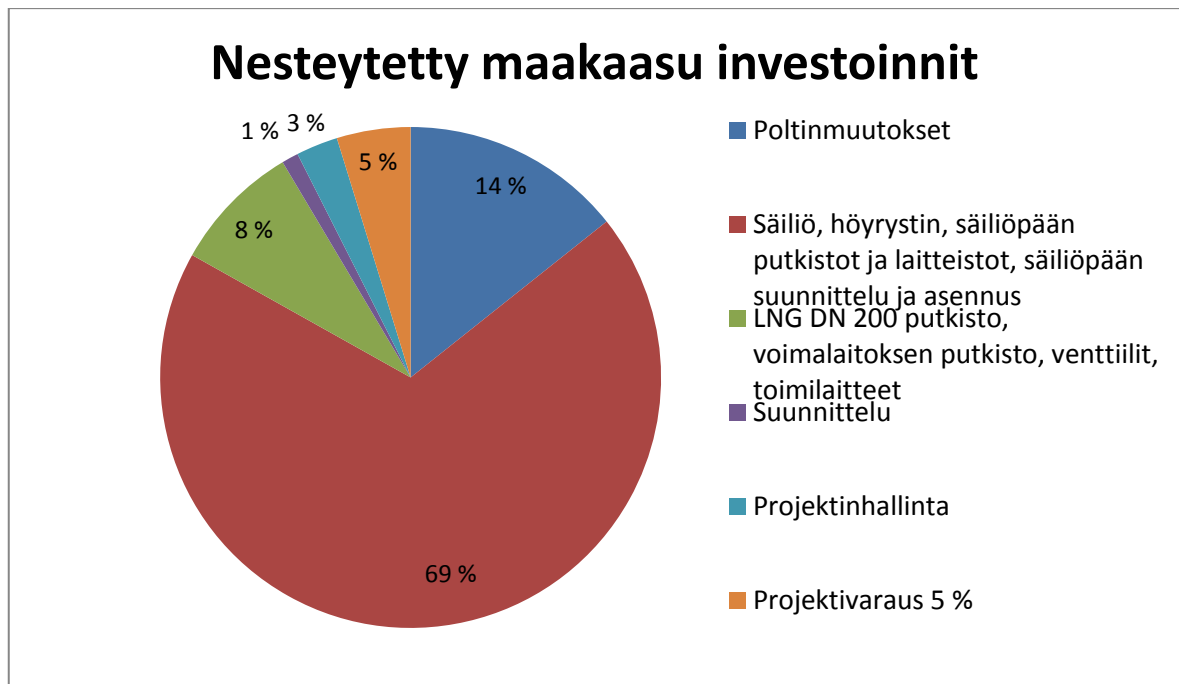
Pyrolyysiöljyn huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista ja öljyn lämmityskustannuksista, arviolta HFO 1 % vastaava noin 135 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat yhteensä noin 1 516 000 €, eli suunnilleen yhtä paljon kuin HFO 1 % käytettäessä.

## **5.1.8 Nesteytetty maakaasu**

### ***Investoinnit***

Nesteytetyn maakaasun skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan nesteytettyyn maakaasuun (LNG), jolloin hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä ei käytännössä ole ja typen oksidien päästöt tippuvat PIPO:n maakaasulle asettamien raja-arvojen alapuolelle. Maakaasua poltettaessa PIPO ei vaadi nykyisten savupiippujen korotuksia.

Kaasumaisena poltettavana ja siirrettävänä polttoaineena maakaasu vaatii teknisesti muutoksia kattiloiden polttimiin, poltinlaitteistoihin ja venttiiliryhmiin, uuden 279 m<sup>3</sup> LNG-säiliön, höyrystimen, paineenvähennyslaitteiston ja muut säiliöpään tarpeelliset laitteistot, sekä siirtoputkiston. LNG-säiliö, höyrystin ja paineenvähennyslaitteet sijoitetaan nykyiseen LNG-terminaaliin, josta rakennetaan noin 600 metriä pitkä DN 200, osittain maanalainen muoviputki voimalaitokselle venttiileineen ja toimilaitteineen.



Kuva 26. Nesteytetyn maakaasun skenaarion investoinnit.

LNG:n käyttöön siirtymiseen vaadittavat investoinnit on esitetty kuvassa 26 ja taulukoituna liitteessä 3. Poltinten kokonaiskustannusarvio on laskettu poltintoimittajilta saatujen poltinkohtaisten kustannusarvioiden perusteella. LNG-säiliön, höyrystimen, paineenvähennyslaitteiston ja muiden säiliöpään laitteistojen kustannusarvio pohjautuu LNG-terminaalille rakennetun ensimmäisen LNG-säiliön kustannuksiin. Putkiston kustannus pohjautuu putken kokonaismetrikintaan, pituuteen, sekä venttiilien ja laitteiden määrään ja hintoihin.

Projektivarausta on LNG-skenaariossa vain 5 %, sillä kustannusarvio perustuu pitkälti LNG-terminaalin ensimmäisen säiliön kustannuksiin. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 3 705 000 €, eli noin 3 200 000 € enemmän kuin esimerkiksi HFO 0,1 %.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Nesteytetyn maakaasun vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Kun LNG:n verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 35 €/MWh<sub>pa</sub>, tuotantokustannuksiksi muodostuu 88 % hyötysuhteella 51,36 €/MWh, joka vastaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 372 000 € vuotuista kustannusta.

Nesteytetyn maakaasun huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista, arviolta 80 000 € vuodessa. Öljyjä alhaisemmat kunnossapitokustannukset johtuvat muun muassa siitä, että LNG ei vaadi lämmitystä eikä se sotke öljyn tavoin. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat yhteensä noin 1 452 000 €, eli ne ovat noin 50 000 € vähemmän kuin esimerkiksi HFO 0,1 %.

### 5.1.9 Nestekaasu

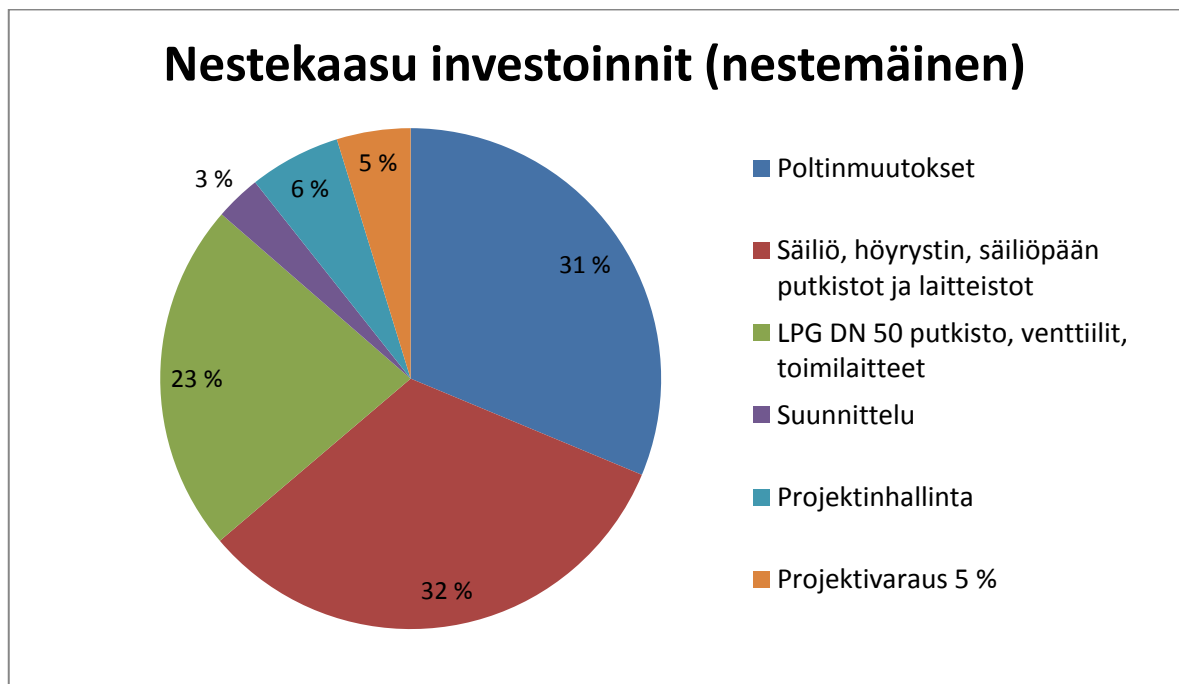
#### *Investoinnit*

Nestekaasun skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan nestekaasuun (LPG), jolloin hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä ei LNG:n tapaan käytännössä ole ja typen oksidien päästöt tippuvat PIPO:n nestekaasulle asettamien raja-arvojen alapuolelle. Nestekaasua poltettaessa PIPO ei vaadi nykyisten savupiippujen korotuksia.

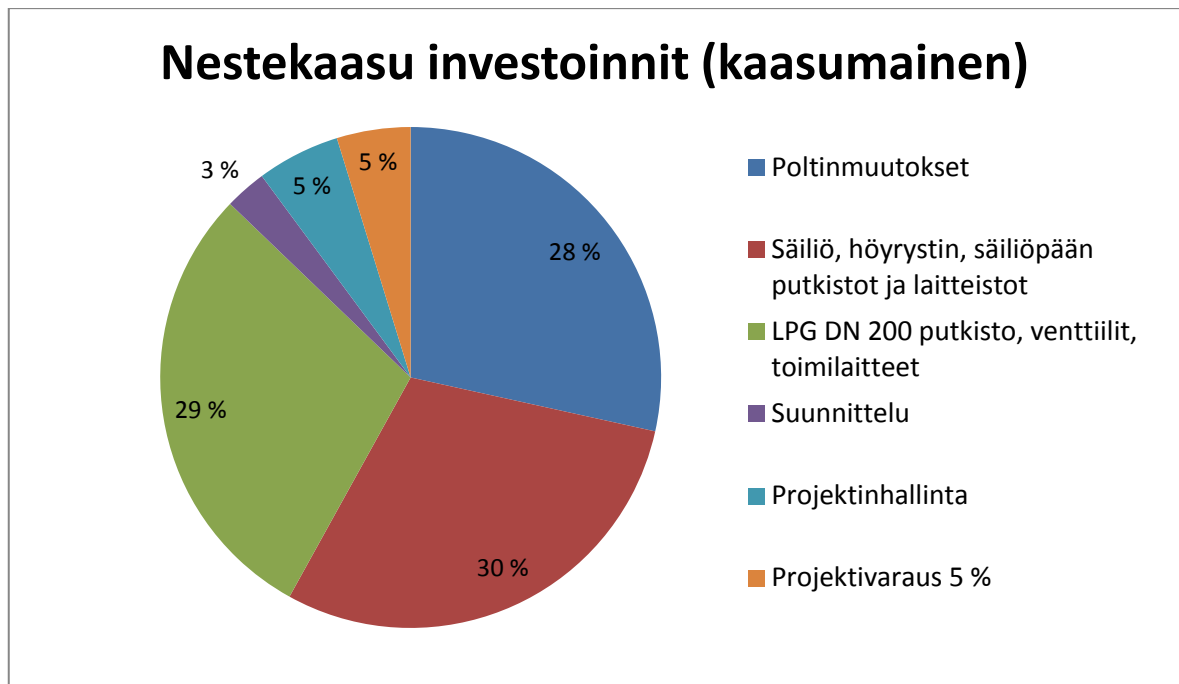
LPG:n käyttö vaatii LNG:tä vastaavat muutokset kattiloiden polttimiin, poltinlaitteistoihin ja venttiiliryhmiin. Lisäksi LPG vaatii kaksi uutta 185 m<sup>3</sup> LPG-säiliötä, höyrystimet, muut säiliöpään laitteistot, sekä siirtoputkiston. LPG-säiliöt sijoitetaan NNH:n kemikaalitehtaan ja Valtasiirron varastohallin väliselle päällystämättömälle alueelle.

LPG siirretään yleensä nestemäisenä käyttöpaikkaan, jossa se höyrystetään käyttöä varten. Tällöin Harjavaltaan rakennettaisiin 600 metriä pitkä, osittain maanalainen DN 50 muoviputki LPG-säiliöiltä voimalaitokselle, varustettuna venttiileillä ja toimilaitteilla ja höyrystimellä voimalaitoksen päässä. Toinen vaihtoehto on höyrystää LPG säiliöillä ja siirtää se kaasumaisena säiliöltä voimalaitokselle. Tällöin rakennettaisiin 600 metriä pitkä, osittain maanalainen DN 200 muoviputki venttiileineen ja toimilaitteineen. Kaasumaisena siirto vaatii siirtoputkeen myös eristyksen ja saattolämmityksen.

Kaasumaisena siirron mukaisesti mitoitettun putkiston etu on se, että rakennetulle putkistolle voidaan saada lupa myös maakaasun siirtämiseen, eli polttoainetta voidaan vaihtaa, mikä lisää joustavuutta. Kaasumaisena siirtämisen mukaisesti mitoitettu putkisto on toisaalta kalliimpi kuin nestemäisen nestekaasun siirtoon tarkoitettu putkisto, joka taas ei sovellu maakaasun siirtoon. Tässä analyysissä tutkitaan molempia vaihtoehtoja.



*Kuva 27. Nestekaasun skenaarion investoinnit (siirto nestemäisenä).*



Kuva 28. Nestekaasun skenaarion investoinnit (siirto kaasumaisena).

LPG:n käyttöön siirtymiseen vaadittavat investoinnit on esitetty kuvissa 27 ja 28 ja taulukoituina liitteessä 3. Poltinten kokonaiskustannusarvio on laskettu poltintoimittajilta saatujen poltinkohtaisten kustannusarvioiden perusteella. LPG-säiliöiden, höyrystimien ja muiden säiliöpään laitteistojen kustannusarvio pohjautuu toimittajan budjettitarjoukseen. Putkistovaihtoehtojen kokonaiskustannukset pohjautuvat putkien kokonaismetrimittoihin, pituuteen, sekä venttiilien ja laitteiden määrään ja hintoihin.

Projektivarausta on tässä skenaariossa vain 5 %, sillä kustannusarvio perustuu pitkälti säiliötoimittajan budjettitarjoukseen. Yhteensä investoinniksi muodostuu nestemäisenä siirrettäessä noin 1 695 000 € ja kaasumaisena siirrettäessä noin 1 863 000 €, eli 1 200 000–1 400 000 € enemmän kuin esimerkiksi HFO 0,1 %.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Nestekaasun vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 3. Kun LPG:n verotomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 370 €/tn, tuotantokustannuksiksi muodostuu 88 % hyötysuhteella 45,29 €/MWh, joka vastaa 27 GWh vuosikulutuksella noin 1 209 000 € vuotuista kustannusta.

Nestekaasun huolto- ja käyttökustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista, arviolta nesteytettyä maakaasua vastaava 80 000 € vuodessa. Vuotuiset muuttuvat kustannukset ovat yhteensä noin 1 289 000 €, eli ne ovat noin 150 000 € vähemmän kuin LNG ja noin 200 000 € vähemmän kuin HFO 0,1 %.

## 5.2 Koskenkorva

Koskenkorvan osalta vertailuun valikoitui viisi mahdollista skenaariota

- kevyt polttoöljy
- rikkipitoisuudeltaan 0,5 % raskas polttoöljy
- nestekaasu
- sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy
- sikuna ja nestekaasu.

1 % raskasta polttoöljyä ei tutkita rikkipesurin mittavan investoinnin vuoksi ja 0,1 % raskasta polttoöljyä ei tutkita 0,5 % HFO:ta korkeamman polttoaineen hinnan vuoksi. 1 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seos, 0,5 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seos, pyrolyysiöljy ja nesteytetty maakaasu eivät ole vaihtoehtoja haastavan teknisen toteutuksen vuoksi. Sikuna on Altian prosessien sivutuotteena syntyvää eri alkoholeista koostuvaa nestettä, joka valittiin mukaan tarkasteluun, sillä se korvaa nykyisellään öljyä halvempaa turvetta Koskenkorvan kiertopetikattilassa.

Koskenkorvan varakattilan polttama vuotuinen polttoainemäärä on noin 7 GWh. Sikunaa poltetaan kiertopetikattilassa noin 2 GWh vuodessa, joten öljyn ja sikunan tai nestekaasun ja sikunan skenaarioissa öljyllä tai nestekaasulla tuotetaan 5 GWh energiasta. Analyysissä käytetään investointien poistoaikana pääosin 15 vuotta vuodesta 2018. Polttoaineiden hintoihin vaikuttavien päästöoikeuksien hinnoiksi käytetään analyysissä 6 €/tnCO<sub>2</sub>. Polttoaineiden hintoihin vaikuttavat verot ovat Koskenkorvalla täysimääräisiä, sillä yhteistuotantoa ei ole kuten Harjavallassa. Sikunan hintana käytetään turpeen hintaa, sillä jos sikuna poltetaan kiertopetikattilan sijasta varakattilassa, on kiertopetikattilassa poltettava vastaava määrä turvetta. Sikunan hinta on siis vaihtoehtoiskustannus (*engl. opportunity cost*).

### 5.2.1 Kevyt polttoöljy

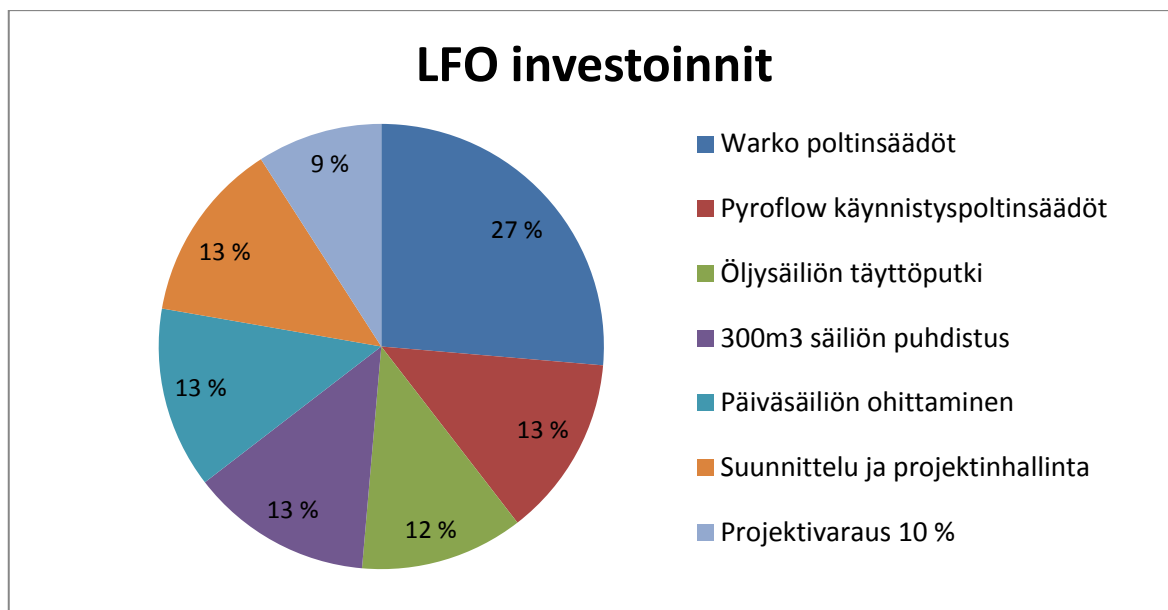
#### *Investoinnit*

Kevyen polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % korvataan kevyellä polttoöljyllä, jonka rikkipitoisuus on alle 0,001 %. LFO:n varakattilassa aiheuttamat rikkipäästöt täyttävät PIPO:n ja MCP:n asettamat raja-arvot ongelmitta. Lisäksi varakattilan hiukkaspäästöt alenevat alhaisemman kiintoainepitoisuuden ja polttoaineen alhaisen viskositeetin ansiosta murto-osaan HFO 1 % verrattuna, ja myös typenoksidipäästöt vähenevät hallitumman palamisen myötä. Kevyen polttoöljyn varastoinnissa ja siirtämiseen käytetään olemassa olevia 300 m<sup>3</sup> säiliötä ja öljyputkistoa.

PIPO ei vaadi polttoainemuutoksen lisäksi muita muutoksia. Teknisesti LFO siirtyminen vaatii kuitenkin varakattilan öljypolttimien ja kiertopetikattilan käynnistyspolttimien virityksen, öljyn esilämmityksen poistamisen ja 300 m<sup>3</sup> HFO 1 % säiliön puhdistamisen LFO varten. Lisäksi käytettävyyden parantamiseksi 300 m<sup>3</sup> öljysäiliöön tehdään uusi, noin 50 metrin täyttöputki ja varakattilan päivä säiliö ohitetaan.

LFO:n käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 29 ja taulukoituna liitteessä 4. Poltinmuutosten hinnat perustuvat toimittajien budjettihintoihin, HFO säiliön puhdistuskustannus ja päivä säiliön ohittamisen kustannus perustuvat arvioihin ja öljysäiliön täyttöputken kustannus putken metrihintaan ja pituuteen. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 76 000 €.





Kuva 29. Kevyen polttoöljyn skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Kevyen polttoöljyn vuotuiset muuttuvat kustannukset taulukoitu liitteessä 4. Kun LFO:n verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 0,35 €/l, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 71,95 €/MWh, joka vastaa 7 GWh vuosikulutuksella noin 504 000 € vuotuista kustannusta. Kevyttä polttoöljyä käytettäessä ei ole muita muuttuvia kustannuksia (kunnossapitokustannukset arvioidaan yhtä suuriksi eri vaihtoehtoilla, joten ne eivät ole relevantteja vertailun kannalta).

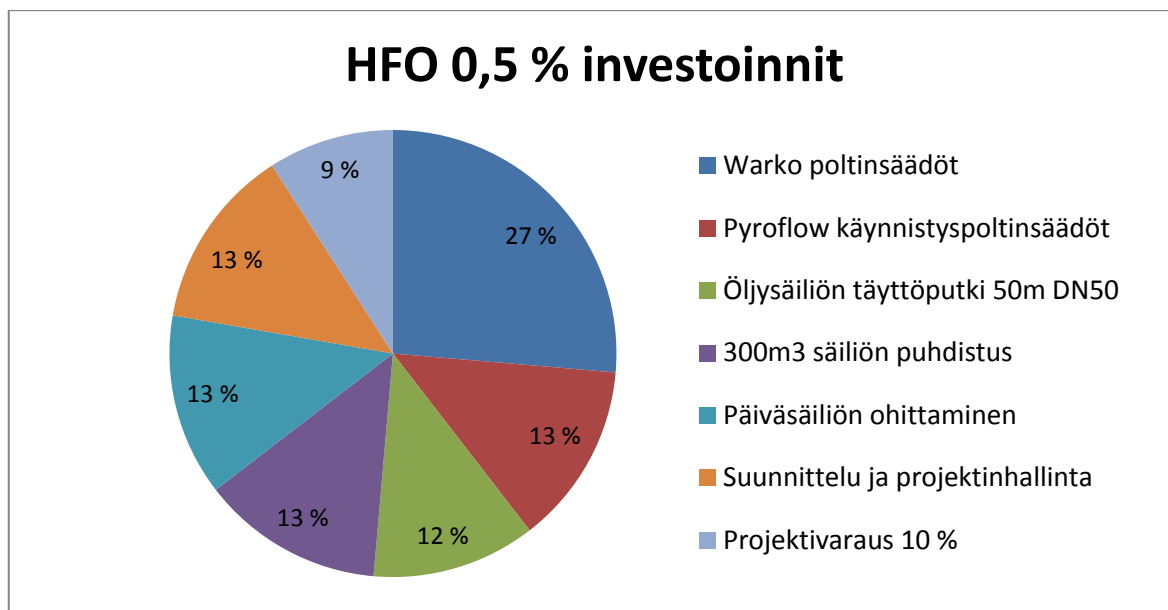
### **5.2.2 0,5 % raskas polttoöljy**

#### ***Investoinnit***

0,5 % raskaan polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % korvataan vähempirikkisellä 0,5 % polttoöljyllä. Vähempirikkisen raskaan polttoöljyn aiheuttamat rikkipäästöt varakattilassa ovat puolet nykyisistä rikkipäästöistä, eli noin 800 mg/Nm<sup>3</sup>. Varakattila täyttää tällöin PIPO:n varakattiloille asettamat raja-arvot, mutta rajaa kattilan käytön 1500 tuntiin vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona. Polttoainemuutoksen myötä varakattilan hiukkas- ja typenoksidipäästöt alenevat alhaisemman kiintoainepitoisuuden ja polttoaineen alhaisemman viskositeetin ansiosta HFO 1 % verrattuna. HFO 0,5 % varastointiin ja siirtämiseen käytetään olemassa olevia 300 m<sup>3</sup> säiliötä ja öljyputkistoa.

PIPO ei vaadi polttoainemuutoksen lisäksi muita muutoksia. Teknisesti polttoaineen vaihtaminen vaatii kuitenkin varakattilan öljypolttimien ja kiertopetikattilan käynnistyspolttimen virityksen, öljyn esilämmityksen vähentämisen ja 300 m<sup>3</sup> HFO 1 % säiliön puhdistamisen HFO 0,5 % varten. Lisäksi käytettävyyden parantamiseksi 300 m<sup>3</sup> öljysäiliöön tehdään uusi täyttöputki ja varakattilan päiväsäiliö ohitetaan, kuten LFO:n kohdalla.

HFO 0,5 % käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 30 ja taulukoituna liitteessä 4. Investoinnit vastaavat kevyen polttoöljyn skenaarion investointeja. Yhteensä investointi on noin 76 000 €, eli saman verran kuin kevyellä polttoöljyllä.



Kuva 30. 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

0,5 % raskaan polttoöljyn vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 4. Kun HFO 0,5 % verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 350 €/tn, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 63,89 €/MWh, joka vastaa 7 GWh vuosikulutuksella noin 447 000 € vuotuista kustannusta. Muut muuttuvat kustannukset, jotka liittyvät öljyn lämmitykseen, ovat noin 2 000 € vuodessa.

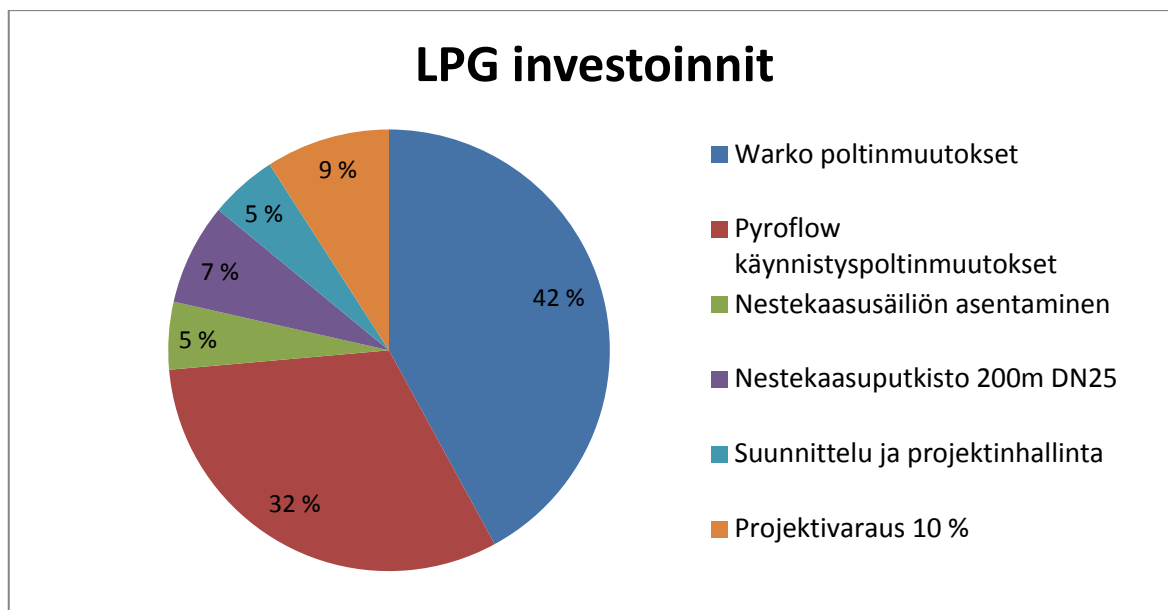
## **5.2.3 Nestekaasu**

### ***Investoinnit***

Nestekaasun skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan nestekaasuun (LPG), jolloin varakattilan hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä ei käytännössä ole ja typen oksidien päästöt tippuvat PIPO:n nestekaasulle asettamien raja-arvojen alapuolelle. PIPO ei vaadi polttoainemuutoksen lisäksi muita muutoksia.

Kaasumaisena poltettavana polttoaineena LPG vaatii teknisesti muutoksia varakattilan polttimiin ja kiertopetikattilan käynnistyspolttimeen, poltinlaitteistoihin ja venttiiliryhmiin, noin 50 m<sup>3</sup> LPG-säiliön, höyrystimen, paineenvähennyslaitteiston ja muut säiliöpään tarpeelliset laitteistot, sekä siirtoputkiston. LPG-säiliö vuokrataan ja sijoitetaan osittain maanpeittämänä esimerkiksi öljysäiliöiden viereen. Höyrystin ja paineenvähennyslaitteet sijoitetaan voimalaitokselle, eli nestekaasu siirretään nestemäisenä. Siirtämistä varten LPG-säiliöltä voimalaitoksen kattiloihin rakennetaan noin 200 metriä pitkä DN 25 putkisto venttiileineen ja toimilaitteineen.

Nestekaasun käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 31 ja taulukoituna liitteessä 4. Poltinmuutosten hinnat perustuvat toimittajien budjettihintoihin, LPG säiliön asennuskustannus perustuu arvioon ja nestekaasuputken kustannus putken metrihin-taan ja pituuteen. Yhteensä investoinniksi muodostuu noin 404 000 €.



Kuva 31. Nestekaasun skenaarion investoinnit.

### ***Muuttuvat kustannukset***

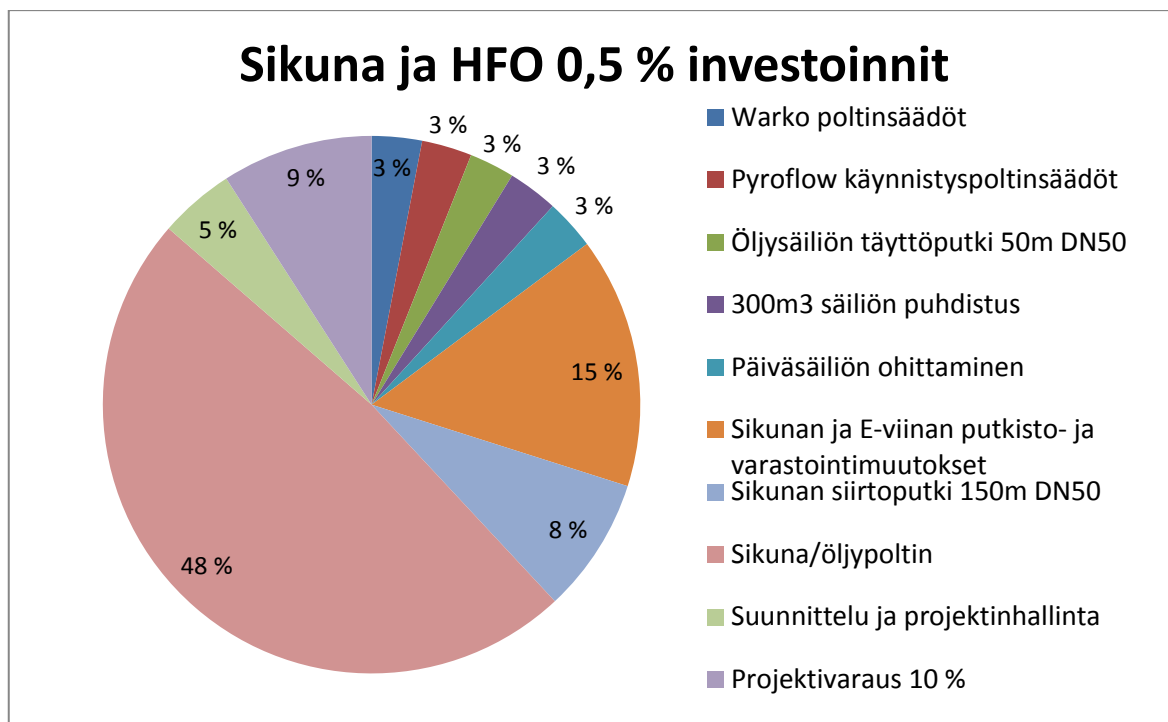
Nestekaasun vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 4. Kun nestekaasun verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 370 €/tn, tuotantokustannuksiksi muodostuu 88 % hyötysuhteella 57,75 €/MWh, joka vastaa 7 GWh vuosikulutuksella noin 404 000 € vuotuista kustannusta. Muihin muuttuviin kustannuksiin kuuluu nestekaasusäiliöiden vuokra, noin 8 000 € vuodessa.

## **5.2.4 Sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy**

### ***Investoinnit***

Sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaariossa nykyinen HFO 1 % korvataan ensisijaisesti Altian tehtaalta tulevalla sikunalla ja sikunan lisäksi vähempirikkisellä 0,5 % polttoöljyllä. Varakattila täyttää tällöin PIPO:n varakattiloille asettamat päästöraja-arvot, mutta 0,5 % raskaan polttoöljyn polttaminen rajaa kattilan käytön 1500 tuntiin vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona. Lisäksi sikunan käyttö vähentää CO<sub>2</sub> päästöjä ja laskee polttoainekustannuksia. Vähempirikkisen raskaan polttoöljyn varastointiin ja siirtämiseen käytetään olemassa olevia 300 m<sup>3</sup> säiliötä ja öljyputkistoa. Sikunan varastointiin on mahdollista saada Altialta noin 100 m<sup>3</sup> säiliötilaa.

PIPO ei vaadi polttoainemuutoksen lisäksi muita muutoksia. Teknisesti polttoaineen vaihtaminen vaatii varakattilan toisen öljypolttimen ja kiertopetikattilan käynnistyspolttimen virityksen, varakattilan toisen öljypolttimen muuttamisen sikunalle sopivaksi, öljyn esilämmityksen vähentämisen, sikunan siirtoputken rakentamisen, sikunan ja E-viinan sekoituksen poistamisen ja 300 m<sup>3</sup> HFO 1 % säiliön puhdistamisen HFO 0,5 % varten. Lisäksi käytettävyyden parantamiseksi 300 m<sup>3</sup> öljysäiliöön tehdään uusi täyttöputki ja varakattilan päivä säiliö ohitetaan.



Kuva 32. Sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

Sikunan ja HFO 0,5 % skenaarion investoinnit on esitetty kuvassa 32 ja taulukoitu liitteessä 4. Sikunan siirtoputken kustannus perustuu putken metrihintaan ja pituuteen, sikunan ja E-viinan putkisto- ja varastointikustannus arvioon. Muilta osin investoinnit vastaavat HFO 0,5 % investointia. Yhteensä investointi on noin 331 000 €.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 4. Kun 0,5 % raskaan polttoöljyn verottomana hintana pidetään tyypillistä hintaa 350 €/tn ja sikunan hintana tyypillistä turpeen verotonta hintaa 10 €/MWh<sub>pa</sub>, tuotantokustannuksiksi muodostuu 87 % hyötysuhteella 49,36 €/MWh, joka vastaa 7 GWh vuosikulutuksella noin 346 000 € vuotuista kustannusta. Muut muuttuvat kustannukset aiheutuvat öljyn lämmityksestä, noin 2 000 € vuodessa.

## **5.2.5 Sikuna ja nestekaasu**

### ***Investoinnit***

Sikunan ja nestekaasun skenaariossa nykyinen HFO 1 % vaihdetaan ensisijaisesti sikunaan ja toissijaisesti nestekaasuun (LPG), jolloin varakattilan PIPO:n asettamat päästöraja-arvot täyttyvät. PIPO ei vaadi polttoainemuutoksen lisäksi muita muutoksia.

Kaasumaisena poltettavana polttoaineena LPG vaatii teknisesti muutoksia varakattilan polttimiin ja kiertopetikatilan käynnistyspolttimeen, polttinlaitteistoihin ja venttiiliryhmiin, noin 50 m<sup>3</sup> LPG-säiliön, höyrystimen, paineenvähennyslaitteiston ja muut säiliöpään tarpeelliset laitteistot, sekä siirtoputkiston. LPG-säiliö vuokrataan ja sijoitetaan osittain maanpeittämänä esimerkiksi öljysäiliöiden viereen. Höyrystin ja paineenvähennyslaitteet sijoitetaan voimalaitokselle, eli nestekaasu siirretään nestemäisenä. Siirtämistä varten

LPG-säiliöltä voimalaitoksen kattiloihin rakennetaan noin 200 metriä pitkä DN 25 putki venttiileineen ja toimilaitteineen. Sikunan käyttö vaatii varakattilan toisen öljypolttimen muuttamisen sikunalle sopivaksi, sikunan siirtoputken rakentamisen sekä sikunan ja E-viinan sekoituksen poistamisen ja varastointikapasiteetin käyttöönoton.

Sikunan ja nestekaasun käyttöön siirtymiseen vaaditut investoinnit on esitetty kuvassa 33 ja taulukoituna liitteessä 4. Poltinmuutosten hinnat perustuvat toimittajien budjettihintoihin, LPG säiliön asennuskustannus ja sikunan ja E-viinan erotuksen poistamisen kustannus perustuvat arvioihin ja sikuna- ja nestekaasuputkien kustannukset putken metrihintoihin ja pituuksiin. Yhteensä investoinniksi saadaan noin 577 000 €.

### ***Muuttuvat kustannukset***

Sikunan ja nestekaasun skenaarion vuotuiset muuttuvat kustannukset on taulukoitu liitteessä 4. Kun nestekaasun verottomana hintana pidetään alalle tyypillistä hintaa 370 €/tn, ja sikunan hintana pidetään tyypillistä verotonta turpeen hintaa 10 €/MWh<sub>pa</sub>, tuotantokustannuksiksi muodostuu 88 % hyötysuhteella 44,98 €/MWh, joka vastaa 7 GWh vuosikulutuksella noin 315 000 € vuotuista kustannusta. Muut muuttuvat kustannukset koostuvat sikunan ja nestekaasun skenaariossa nestekaasusäiliön vuokrakustannuksista, joiksi on arvioitu noin 8000 € vuodessa.



*Kuva 33. Sikunan ja nestekaasun skenaarion investoinnit.*

## 6 Teknitaloudellisesti optimaalinen ratkaisu

Teknitaloudellisesti optimaalisen ratkaisun löytämiseksi tässä luvussa vertaillaan eri skenaarioiden kustannuksia ja ominaisuuksia. Kustannukset ilmoitetaan tarkasteluajavälin keskiarvona, suhteessa tuotettuun energiamäärään (€/MWh) ja ne on jaettu kiinteisiin (investointien vuosittaiset poistot) ja muuttuviin (vuosittaiset muuttuvat kustannukset). Tarkastelu aika on Harjavallan osalta vuoteen 2024 asti (käytöstä poistuvien kattiloiden poistot suoritettu) ja Koskenkorvan osalta vuoteen 2030 asti (kaikki poistot suoritettu).

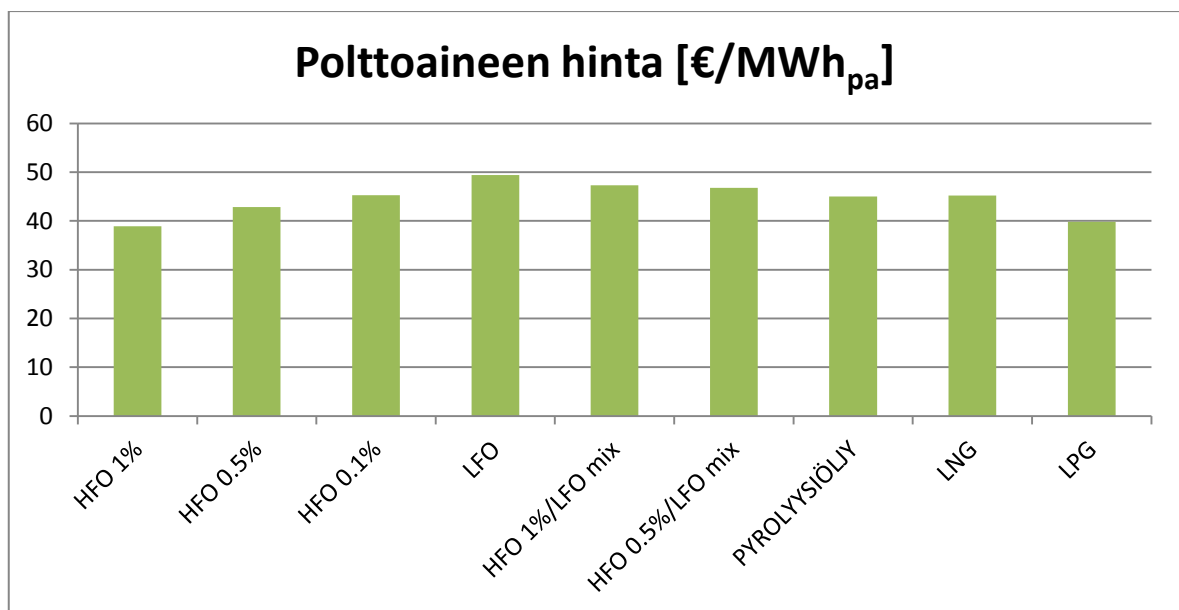
### 6.1 Harjavalta

Harjavallan nykyisten öljykattiloiden tulevien vuosien vuosittaisien tuntimääräarvioiden perusteella vuosittaiseksi tuotantomääräksi saatiin analyysissä käytetty 27 GWh. Muuttuvat kustannukset megawattituntia kohti on saatu jakamalla vuosittaiset muuttuvat kustannukset arvioidulla tuotantomäärällä, eli 27 GWh. Kiinteät kustannukset on vastaavasti saatu jakamalla investointien vuosittaiset poistot arvioidulla tuotantomäärällä. Vaihtoehtojen herkkyyttä tuotantomäärän suhteen on arvioitu esittämällä vaihtoehdot suhteessa puolikkaaseen tuotantomäärään 13 GWh ja kaksinkertaiseen tuotantomäärään 53 GWh.

#### 6.1.1 Kustannusten vertailu

##### *Polttoaineiden hinnat*

Kuvassa 34 on esitetty eri polttoainevaihtoehtojen verolliset hinnat, jotka perustuvat tyypillisiin verottomiin markkinahintoihin. Kuvasta voidaan havaita, että halvimmat polttoaineet ovat 1 % raskas polttoöljy (38,94 €/MWh<sub>pa</sub>) ja nestekaasu (39,85 €/MWh<sub>pa</sub>). Siirryttäessä 1 % raskaasta polttoöljystä pidemmälle jalostettuihin öljyihin voidaan huomata hinnan kasvavan, kevyen polttoöljyn ollessa kaikista polttoainevaihtoehdoista kallein (49,41 €/MWh<sub>pa</sub>). Pyrolyysiöljyn (45,00 €/MWh<sub>pa</sub>) ja nesteytetyn maakaasun hinnat (45,20 €/MWh<sub>pa</sub>) ovat ääripäiden välissä.



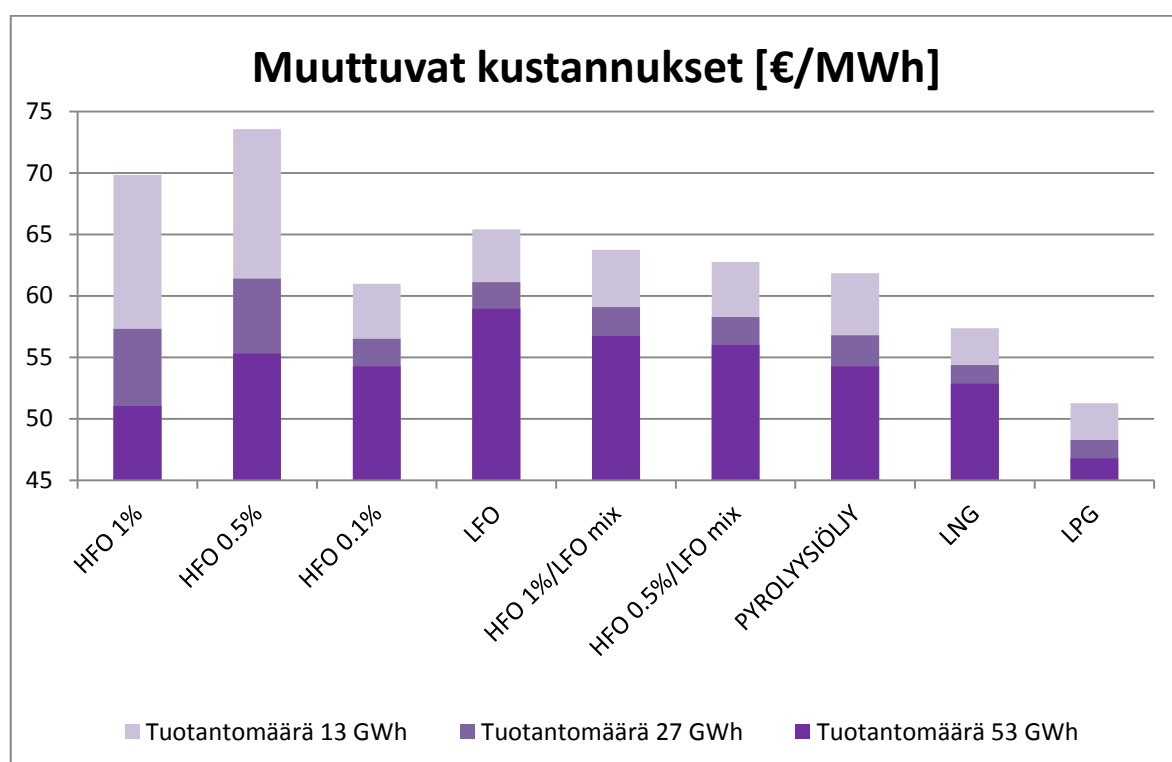
Kuva 34. Eri polttoainevaihtoehtojen verolliset hinnat, jotka perustuvat tyypillisiin verottomiin markkinahintoihin.

## Muuttuvat kustannukset

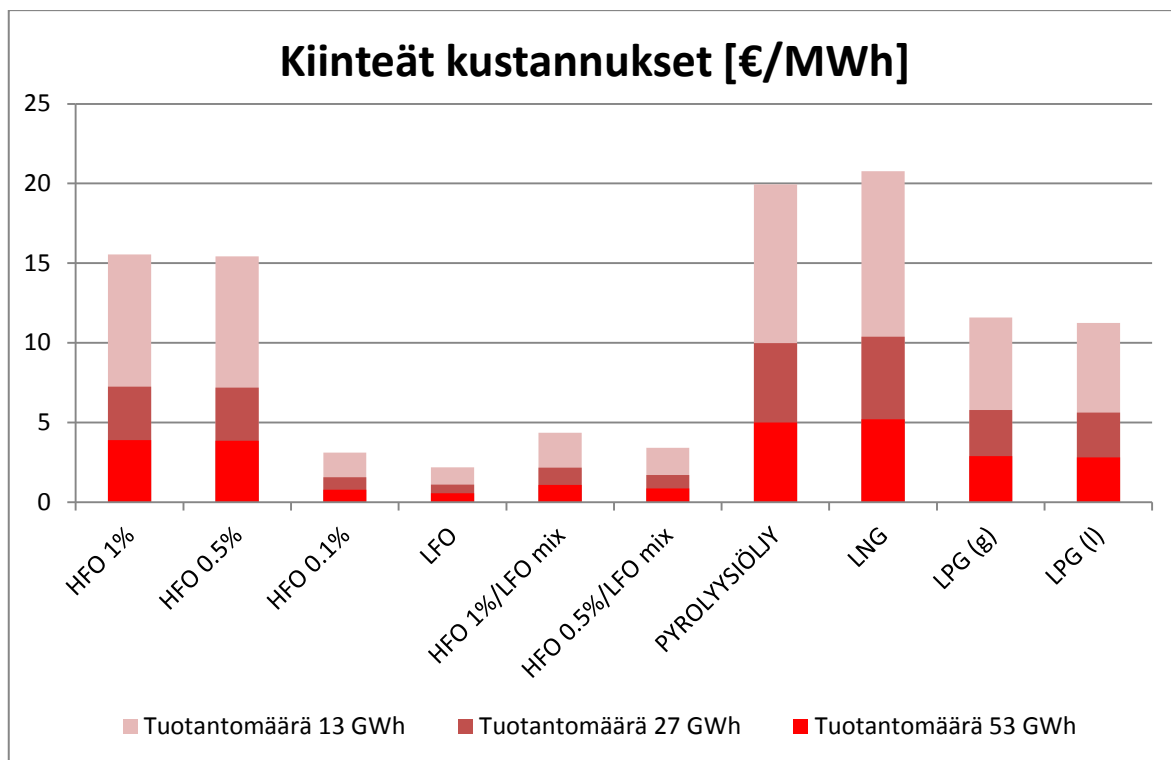
Ottamalla huomioon eri polttoaineiden polton hyötysuhteet, laskettiin polttoaineiden hinnoista eri polttoaineiden tuotantokustannukset. Lisäämällä tuotantokustannuksiin muut vuosittaiset muuttuvat kustannukset saatiin selville eri polttoaineiden muuttuvat kustannukset, jotka on esitetty kuvassa 35. Muuttuvien kustannusten herkkyyttä tuotantomäärän vaihtelulle on kuvattu esittämällä muuttuvat kustannukset arvioidun 27 GWh lisäksi puolikkaalla (13 GWh) ja kaksinkertaisella (53 GWh) tuotantomäärillä.

Vertaamalla muuttuvia kustannuksia polttoainehintoihin voidaan huomata, että vaihtoehtojen järjestys muuttuu hieman. 1 % ja 0,5 % raskaiden polttoöljyjen muuttuvien kustannusten ero polttoaineiden hintoihin nähden on suhteessa suurempi kuin muilla polttoaineilla, johtuen lähinnä rikkipesurin muuttuvista kustannuksista. Lisäksi öljyjen muuttuvien kustannusten ja polttoaineiden hintojen ero on suhteessa suurempi kuin kaasumaisilla polttoaineilla, johtuen huonommasta hyötysuhteesta ja suuremmista kunnossapitokustannuksista. Tästä syystä öljyvaihtoehdot ovat myös herkempiä tuotantomäärän muutoksille.

Tuotantomäärän ollessa 27 GWh muuttuvien kustannusten halvin vaihtoehto on nestekaasu (48,28 €/MWh) ja kallein 0,5 % raskas polttoöljy (61,39 €/MWh). Halvin öljyvaihtoehto on 0,1 % raskas polttoöljy (56,50 €/MWh). Nesteytetty maakaasu (54,36 €/MWh) ja pyrolyysiöljy (56,78 €/MWh) ovat muuttuvilta kustannuksiltaan lähellä halvinta öljyä. Muilla tuotantomäärillä keskeinen järjestys on melkein identtinen. Ainoastaan 1 % ja 0,5 % raskaiden polttoöljyjen vaihtoehtojen paikka järjestyksessä muuttuu, koska rikkipesurin käyttökustannuksina käytetään tuotantomäärästä riippumatonta vakioarvoa.



Kuva 35. Eri polttoainevaihtoehtojen muuttuvat kustannukset, jotka koostuvat tuotantokustannuksista ja muista muuttuvista kustannuksista.



Kuva 36. Eri polttoainevaihtoehtojen kiinteät kustannukset, jotka koostuvat investointien poistoista. LPG (g) on kaasumaisena siirretty nestekaasu ja LPG (l) on nestemäisenä siirretty nestekaasu.

### Kiinteät kustannukset

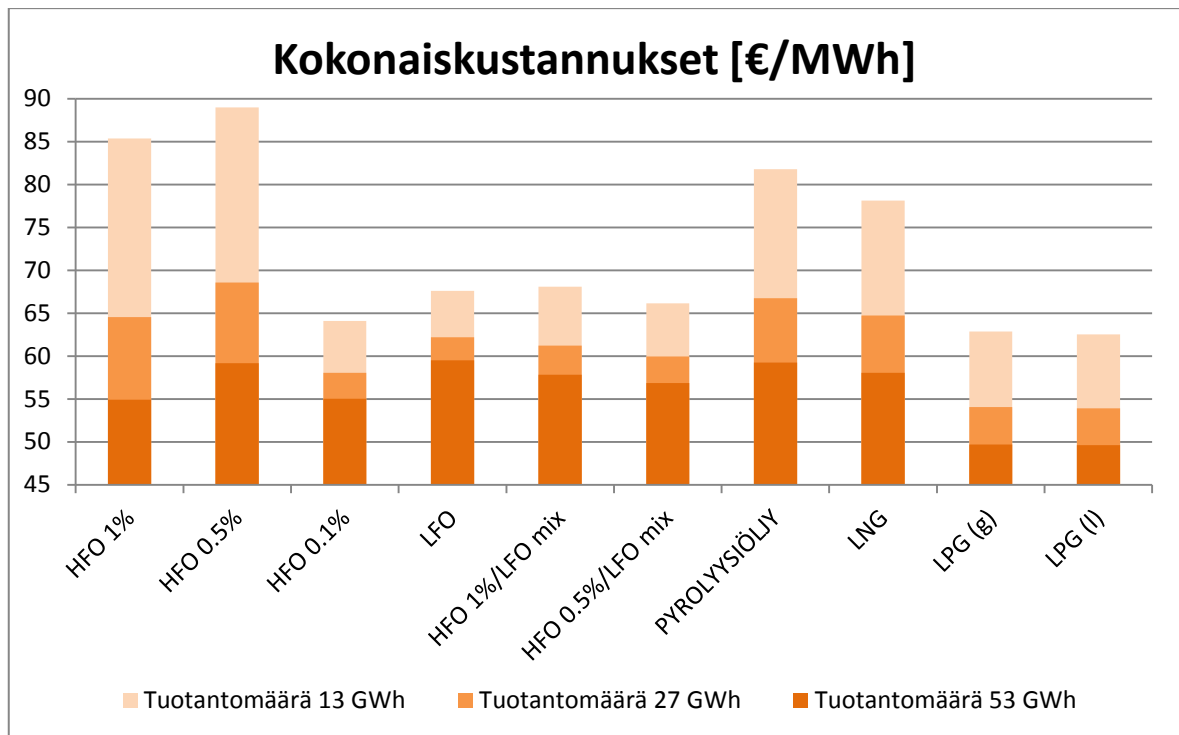
Investointien poistoista muodostuvat kiinteät kustannukset eri tuotantomäärillä on esitetty kuvassa 36. Kuvasta voidaan nähdä, että eri polttoaineiden kiinteät kustannukset vaihtelevat merkittävästi. Tuotantomäärien vaihdellessa eri vaihtoehtojen järjestys pysyy samana.

Tuotantomäärän ollessa 27 GWh suurimmat kiinteät kustannukset ovat nesteytetyllä maakaasulla (10,39 €/MWh), pyrolyysiöljyllä (9,98 €/MWh), 1 % ja 0,5 % raskaalla polttoöljyllä (7,25 €/MWh ja 7,18 €/MWh). Nesteytetyn maakaasun osalta suuri investointi johtuu lähinnä säiliöstä ja säiliöpään laitteista, pyrolyysiöljyn osalta haponkestävistä materiaaleista ja raskaiden polttoöljyjen osalta rikkipesurista. Pienimmät kiinteät kustannukset ovat muilla öljyvaihtoehdoilla: kevyt polttoöljy (1,09 €/MWh), 0,1 % raskas polttoöljy (1,55 €/MWh) ja seokset (1,70 €/MWh ja 2,17 €/MWh). Nestekaasun kiinteät kustannukset asettuvat ääripäiden välille. Nestemäisenä siirrettäessä hinta on hieman alhaisempi (5,62 €/MWh) kuin kaasumaisena siirrettäessä (5,79 €/MWh).

### Kokonaiskustannukset

Muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista koostuvat kokonaiskustannukset eri tuotantomäärillä on esitetty kuvassa 37. Tuotantomäärän ollessa 27 GWh kokonaiskustannusten perusteella halvin polttoainevaihtoehto on nestekaasu (53,91 €/MWh nestemäisenä siirrettynä ja 54,07 €/MWh kaasumaisena siirrettynä). Toiseksi halvin vaihtoehto on 0,1 % raskas polttoöljy (58,05 €/MWh), joka on fossiilisista öljyvaihtoehdoista halvin. Kalleimmat vaihtoehdot ovat 0,5 % raskas polttoöljy (68,58 €/MWh) ja pyrolyysiöljy (66,76 €/MWh). Nesteytetty maakaasu on kustannuksiltaan lähellä pyrolyysiöljyä (64,75 €/MWh).





Kuva 37. Eri polttoainevaihtoehtojen kokonaiskustannukset, jotka koostuvat muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista. LPG (g) on kaasumaisena siirretty nestekaasu ja LPG (l) on nestemäisenä siirretty nestekaasu.

Koska 0,1 % raskas polttoöljy on kokonaiskustannuksiltaan fossiilisista öljyvaihtoehtoista (HFO 1 %, HFO 0,5 %, HFO 0,1 %, LFO, HFO 1 %/LFO mix, HFO 0,5 %/LFO mix) halvin eikä sen käytölle ole teknisiä esteitä, tarkastellaan teknisten ominaisuuksien vertailussa fossiilisista öljyvaihtoehtoista vain 0,1 % raskasta polttoöljyä. Ominaisuuksien vertailussa mukana olevat vaihtoehdot ovat

- 0,1 % raskas polttoöljy
- pyrolyysiöljy
- nesteytetty maakaasu
- nestekaasu.

## 6.1.2 Ominaisuuksien vertailu

### 0,1 % raskas polttoöljy

0,1 % raskas polttoöljy eroaa nykyisin käytettävästä 1 % raskaasta polttoöljystä käyttämies-  
lessä merkittävimmin viskositeettinsa suhteen. Kun 1 % raskaan polttoöljyn viskositeetti  
50 °C lämpötilassa on esimerkiksi välillä 180–420 mm<sup>2</sup>/s, niin 0,1 % raskaan polttoöljyn  
viskositeetti vastaavassa lämpötilassa on välillä 3–8 mm<sup>2</sup>/s. 0,1 % raskaan polttoöljyyn  
siirryttäessä on siis poltinten virittämisen ja putkistojen rakentamisen yhteydessä vähennet-  
tävä öljyn esilämmitystä. Teknisesti ratkaisu on suhteellisen yksinkertaisesti toteutettavis-  
sa. Ainoa haaste teknisesti on apukattilan savupiipun korotus vähäisen tilan vuoksi.

0,1 % raskaan polttoöljyn hinta riippuu vahvasti raakaöljyn hinnasta, joten hinnan nouse-  
misen riski on olemassa. 0,1 % raskas polttoöljy aiheuttaa myös pyrolyysiöljyä, nesteytet-  
tyä maakaasua ja nestekaasua suuremmat CO<sub>2</sub>-päästöt (päästökerroin 0,284 tnCO<sub>2</sub>/MWh).

Lisäksi raskas polttoöljy aiheuttaa kaasumaisia polttoaineita suuremmat hiukkas-, typenoksid- ja rikkidioksidipäästöt. Kaasumaisilla polttoaineilla hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä ei käytännössä ole ollenkaan ja typenoksidipäästöt laskevat myös. Öljyn käytön jatkamisella on siis muita polttoaineita suuremmat negatiiviset ympäristövaikutukset.

### ***Pyrolyysiöljy***

Pyrolyysiöljy eroaa fossiilisista öljyistä useilla eri tavoilla. Pyrolyysiöljy sisältää 20–30 % vettä ja sen happamuus on 2–3 pH, joten öljyyn kosketuksessa olevien materiaalien on kestävä happamia olosuhteita. Vesisisällön vuoksi pyrolyysiöljyn lämpöarvo on raskasta polttoöljyä huomattavasti alhaisempi, noin 14–18 MJ/kg, joten siirtoputkistojen on oltava nykyisiä siirtoputkia suurempia. Käytön kannalta haastavan pyrolyysiöljystä tekee se, että pyrolyysiöljyä on sekoitettava, jotta se säilyy yhdessä faasissa. Lisäksi pyrolyysiöljyn koostumus muuttuu ajan myötä käyttökelvottomaksi, minkä vuoksi pyrolyysiöljy ei ole hyvä vaihtoehto varakattiloille, joita käytetään harvoin.

Pyrolyysiöljy ei ole tällä hetkellä energiaverotuksen piirissä, mutta käyttömäärän kasvaessa myös pyrolyysiöljy tulee olemaan verotuksen piirissä. Tämä aiheuttaa pyrolyysiöljyn hinnan kasvuun liittyvän riskin. Kasvihuonekaasupäästöjen suhteen pyrolyysiöljy aiheuttaa tarkasteltavista polttoaineista vähiten CO<sub>2</sub>-päästöjä, joten ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta pyrolyysiöljy on paras vaihtoehto. Myös rikkidioksidipäästöt tippuvat pyrolyysiöljyä käytettäessä murto-osaan nykyisestä. Pyrolyysiöljyn hiukkas- ja typenoksidipäästöt säilyvät kuitenkin 1 % raskasta polttoöljyä vastaavina, tai saattavat jopa nousta, minkä vuoksi lähiympäristöön kohdistuvat negatiiviset ympäristövaikutukset ovat vakavampia kuin kaasumaisilla polttoaineilla.

### ***Nesteytetty maakaasu***

Maakaasu vaatii kaasumaisena poltettavana ja siirrettävänä, mutta nestemäisenä varastoituna polttoaineena polttimien ja poltinlaitteistojen muuttamisen, uuden LNG-säiliön, höyrystimen, siirtoputkiston ja muita laitteita. Ratkaisu on teknisesti toteutettavissa, mutta aikataulultaan haastava, koska LNG-säiliön toimitusaika on noin vuosi. Muutostyöt on tehtävä vuoden 2017 ja 2018 seisokkien aikana, jolloin vuoden 2018 alkupuolen aikana tulisi käyttää väliaikaisesti toista polttoainetta. Nesteytetyn maakaasun säiliön luvan hakeminen onnistuu ilmoitusmenettelyllä, koska säiliö huomioitu terminaalin rakennusvaiheessa.

Nesteytetyn maakaasun hinta seuraa öljyn hintaa viiveellä, mutta hinnassa ei ole samalaista kausivaihtelua kuin nestekaasun hinnassa. Lisäksi Suomeen vasta tehty investoinnit satamien LNG-terminaaleihin näkyvät vielä nesteytetyn maakaasun korkeampana hintana. Käytön osalta kaasumaiset polttoaineet vähentävät vioista ja likaantumisesta aiheutuvan kunnossapidon määrää nestemäisiin polttoaineisiin nähden. Maakaasu aiheuttaa 0,1 % raskasta polttoöljyä ja nestekaasua vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä (päästökerroin 0,198 tnCO<sub>2</sub>/MWh), joten se on fossiilisista polttoaineista ilmastonmuutoksen kannalta paras vaihtoehto. Lisäksi maakaasu ei aiheuta hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä, ja sen typenoksidipäästöt ovat öljyä alhaisempia.

Nesteytettyyn maakaasun liittyy myös mahdollisuus korvata BOHA:n käyttämä nestekaasu ja kevyt polttoöljy maakaasulla. Lisäksi on mahdollisuus käyttää nesteytettyä maakaasua Suurteollisuuspuiston alueen raskaan ajoneuvokaluston polttoaineena, ja paineistettua maakaasua alueen työkonien ja henkilöautojen polttoaineena.

## Nestekaasu

Nestekaasu vaatii kaasumaisena poltettavana polttoaineena nesteytetyn maakaasun tavoin polttimien ja polttilaitteistojen muuttamisen. Lisäksi nestekaasu vaatii uusia LPG-säiliöitä, höyrystimen, siirtoputkiston ja muita laitteita. Teknisesti ratkaisu on toteutettavissa hyvällä suunnittelulla, sillä muutostyöt on tehtävä vuoden 2017 seisakin aikana. Säiliön luvan hakeminen aiheuttaa aikatauluriskin, sillä uusille LPG-säiliöille ei ole haettu lupaa.

Nestekaasun hinta vaihtelee kausittain, ollen talvisin korkeampi kuin kesäisin, koska nestekaasua käytetään Euroopassa paljon lämmityspolttoaineena. Nestekaasun käyttö vähentää vioista ja likaantumisesta aiheutuvan kunnossapidon määrää nestemäisiin polttoaineisiin nähden. Nestekaasu aiheuttaa 0,1 % raskasta polttoöljyä vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä (päästökerroin 0,234 tnCO<sub>2</sub>/MWh), joten se on ilmastonmuutoksen kannalta öljyä parempi vaihtoehto. Lisäksi nestekaasu ei maakaasun tavoin aiheuta hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä, ja sen typenoksidipäästöt ovat öljyä alhaisempia.

Jos nestekaasu siirretään kaasumaisena, antaa rakennettu putkilinja mahdollisuuden siirtyä myöhemmin maakaasuun, mikä lisää joustavuutta käytetyn polttoaineen suhteen. Kaasumaisena siirron pitäisi olla teknisesti mahdollista, mutta siitä ei löytynyt projektin esiselvityksen aikana referenssejä.

### 6.1.3 Optimaalinen skenaario

Taulukossa 26 on esitetty eri polttoainevaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet. Optimaalinen skenaario riippuu siitä, miten eri vaihtoehtojen vahvuuksia ja heikkouksia painotetaan. Ainoastaan pyrolyysiöljy on teknisten ominaisuuksiensa vuoksi selvästi muita vaihtoehtoja heikompi Harjavallan tapauksessa.

Jos olemassa olevan kapasiteetin ylläpitämiseen ei haluta käyttää paljon rahaa ja pyritään minimoimaan nykyisten öljykattiloiden käyttöä tulevaisuudessa, on paras ratkaisu 0,1 % raskas polttoöljy. Jos taas halutaan minimoida energiantuotannon ympäristövaikutus, halutaan investoida tähdäten tulevaisuuteen, ja korkea investointihinta ei ole ongelma, on paras ratkaisu nesteytetty maakaasu. Jos halutaan investoida vähemmän rahaa kuin nesteytettyyn maakaasuun, käyttää edullista polttoainetta, vähentää päästöjä, ja säilyttää mahdollisuus nesteytettyyn maakaasuun, on paras ratkaisu kaasumaisena siirrettävä nestekaasu.

*Taulukko 26. Polttoainevaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet.*

Vaihtoehto	Vahvuudet	Heikkoudet
0,1 % raskas polttoöljy	Pieni investointikustannus	Korkeat muuttuvat kustannukset
	Teknisesti yksinkertainen toteutus	Korkeat CO <sub>2</sub> -, hiukkas-, typenoksi- ja rikkidioksidipäästöt
		Öljyn hinnanvaihtelun seurauksena polttoaineen hintariski

*Taulukko 26. Polttoainevaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet (jatkoa).*

Vaihtoehto	Vahvuudet	Heikkoudet
Pyrolyysiöljy	Hiilineutraali polttoaine (alhaisimmat CO <sub>2</sub> -päästöt)	Korkea investointikustannus
	Alhaiset rikkidioksidipäästöt	Korkeat muuttuvat kustannukset
		Käsittely ongelmallista, vaatii sekoituksen
		Muuttuu ajan myötä käyttökelvottomaksi
		Korkeat hiukkas- ja typen oksidipäästöt
		Polttoaineveron lisäämisestä polttoaineen hintariski
Nesteytetty maakaasu	Luvan hakeminen yksinkertaista	Korkea investointikustannus
	Pieni kunnossapidon tarve	Haastava toteutusaikataulu
	Hinta ennustettavissa ja hinnan laskua odotettavissa	
	Fossiilisista polttoaineista alhaisimmat CO <sub>2</sub> -päästöt	
	Ei hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä	
	Mahdollisuus korvata BOHA:n nestekaasun ja LFO:n käyttö	
	Mahdollisuus liikenne- ja työ-konepolttoainekäyttöön	
Nestekaasu	Pienet muuttuvat kustannukset	Hinnan kausivaihtelut
	Pieni kunnossapidon tarve	Luvan hakeminen aiheuttaa aikatauluriskin
	Ei hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä	
	Kaasumaisena siirto mahdollistaa vaihdon LNG samalla putkistolla	

## 6.2 Koskenkorva

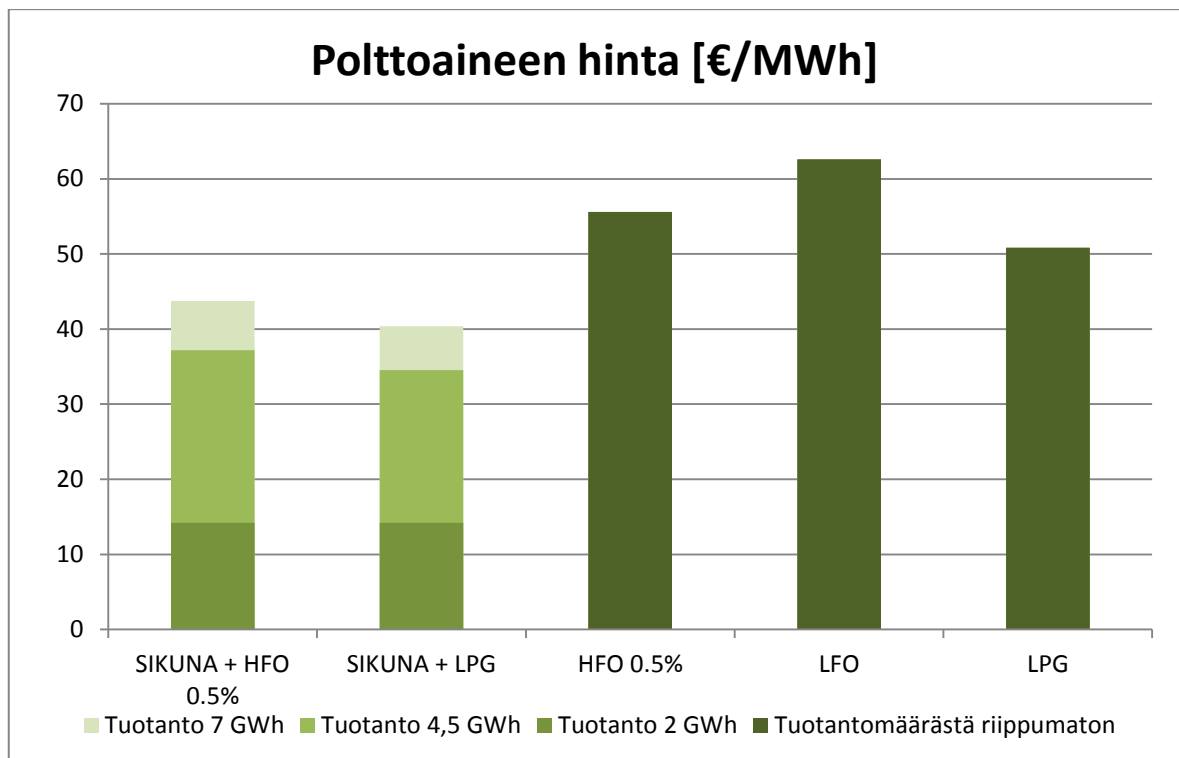
Koskenkorvan varakattilan tulevien vuosien tuotantomääräksi arvioitiin 7 GWh vuodessa. Muuttuvat kustannukset megawattituntia kohti on saatu jakamalla vuosittaiset muuttuvat kustannukset arvioidulla tuotantomäärällä, eli 7 GWh. Kiinteät kustannukset on vastaavasti saatu jakamalla investointien vuosittaiset poistot arvioidulla tuotantomäärällä. Vaihtoehtojen herkkyyttä tuotantomäärän suhteen on arvioitu esittämällä vaihtoehdot myös suhteessa 4,5 GWh ja 2 GWh vuosituotantoihin.

### 6.2.1 Kustannusten vertailu

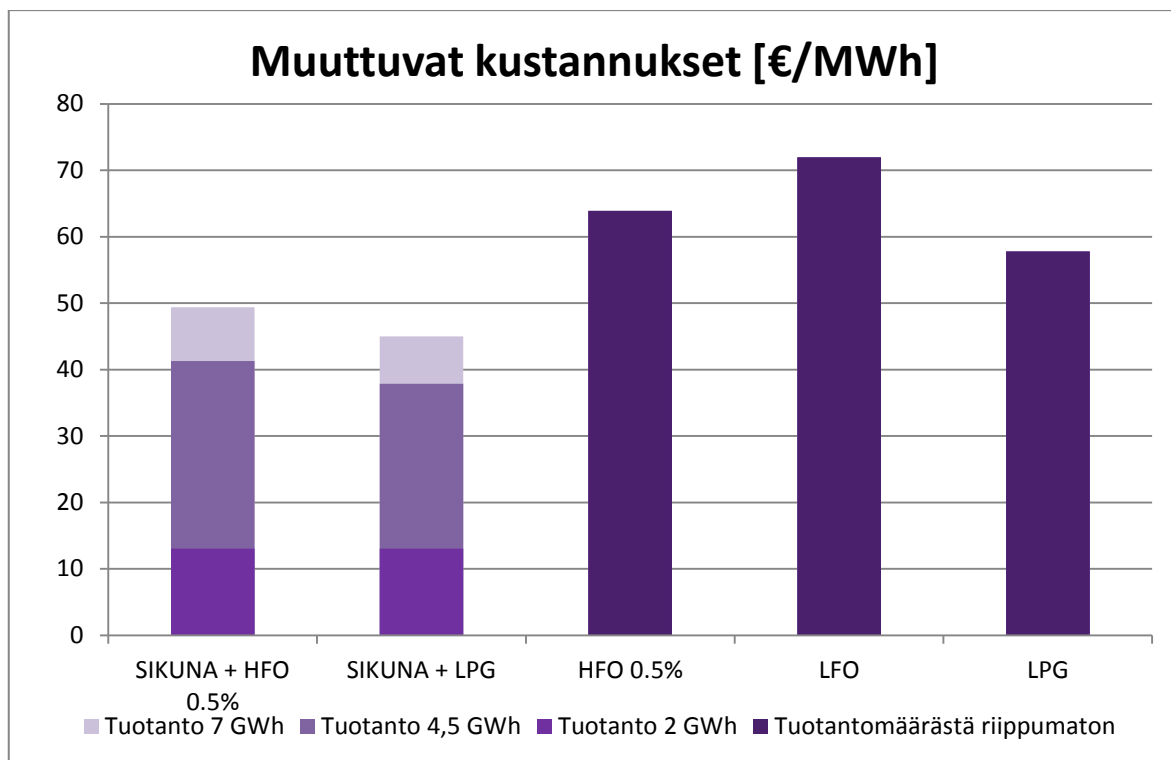
#### *Polttoaineiden hinnat*

Kuvassa 38 on esitetty eri vaihtoehtojen verolliset hinnat, jotka perustuvat tyypillisiin verottomiin markkinahintoihin. Sikunan hintana on turpeen hinta, koska sitä poltetaan nykyään Koskenkorvan kiertopetikattilassa, jossa se korvaa turvetta. Sikunaa käytettäessä polttoaineseoksen hinta muuttuu tuotantomäärän muuttuessa, koska monipolton polttoaineiden osuudet tuotannosta muuttuvat ja niiden hinnat eroavat toisistaan.

Kuvasta voidaan nähdä, että tuotantomäärän ollessa 7 GWh sikunan ja nestekaasun monipolto on halvin vaihtoehto polttoaineen hinnan suhteen (40,35 €/MWh<sub>pa</sub>). Myös sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn monipolto on edullinen vaihtoehto (43,75 €/MWh<sub>pa</sub>). Kallein vaihtoehto on kevyt polttoöljy (62,59 €/MWh<sub>pa</sub>). 0,5 % raskas polttoöljy (55,58 €/MWh<sub>pa</sub>) ja nestekaasu (50,82 €/MWh<sub>pa</sub>) ovat ääripäiden välissä. Jos tuotantomäärä on alempi kuin 7 GWh, korostuu sikunan monipolton hyöty polttoaineen hinnassa, koska sikunan osuus energiasta kasvaa ja sikuna on edullisempaa kuin toissijainen polttoaine.



Kuva 38. Eri polttoainevaihtoehtojen verolliset hinnat, jotka perustuvat tyypillisiin verottomiin markkinahintoihin.



Kuva 39. Eri polttoainevaihtoehtojen muuttuvat kustannukset, jotka koostuvat tuotantokustannuksista ja muista muuttuvista kustannuksista.

### ***Muuttuvat kustannukset***

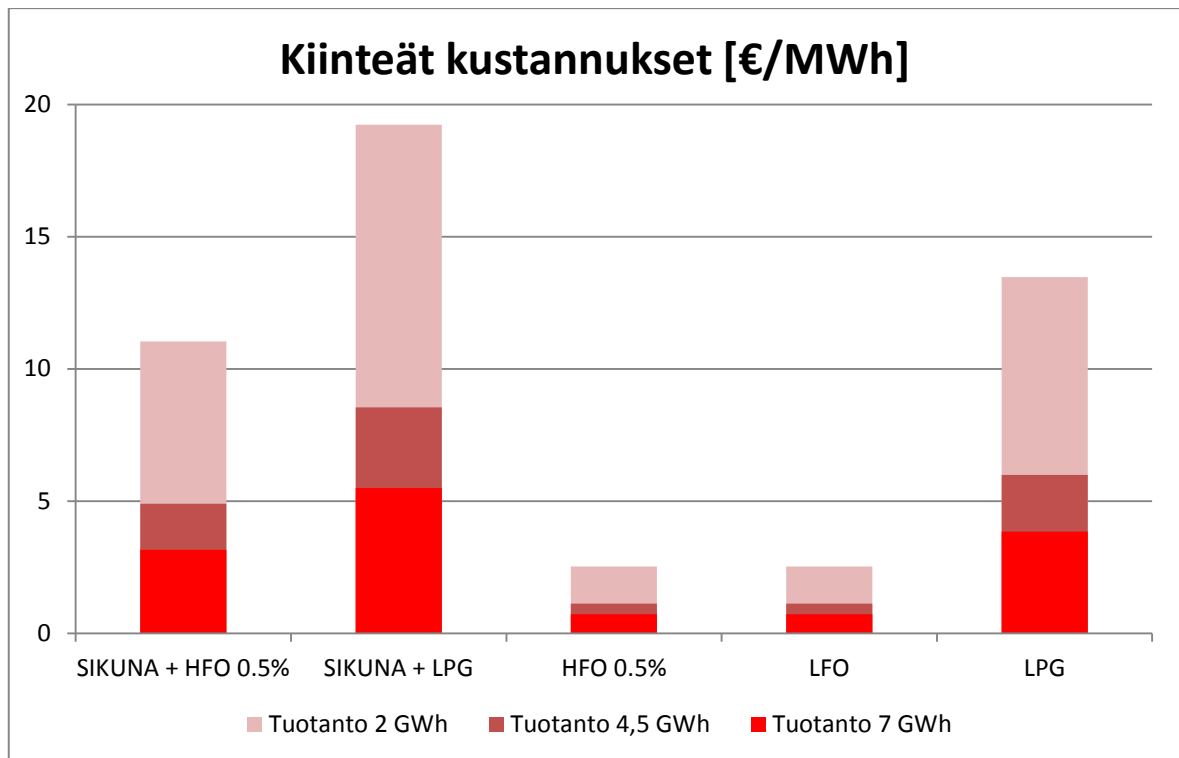
Eri vaihtoehtojen muuttuvat kustannukset eri tuotantomäärien suhteissa on esitetty kuvassa 39. Kuvasta voidaan nähdä, että eri polttoainevaihtoehtojen järjestys säilyy samana kuin polttoaineiden hinnoissa, koska muita merkittäviä muuttuvia kustannuksia ei ole. Tuotantomäärän muutos ei muuta eri vaihtoehtojen keskinäistä järjestystä, mutta sikunan edullisen hinnan merkitys korostuu.

Vuosituotannon ollessa 7 GWh sikunan ja nestekaasun monopolitto on halvin vaihtoehto muuttuvien kustannusten kannalta (44,98 €/MWh<sub>pa</sub>), ja myös sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn monopolitto on edullinen vaihtoehto (49,36 €/MWh<sub>pa</sub>). Kallein vaihtoehto on kevyt polttoöljy (71,95 €/MWh<sub>pa</sub>), kun taas 0,5 % raskas polttoöljy (63,89 €/MWh<sub>pa</sub>) ja nestekaasu (57,75 €/MWh<sub>pa</sub>) sijoittuvat ääripäiden väliin.

### ***Kiinteät kustannukset***

Investointien poistoista muodostuvat kiinteät kustannukset eri tuotantomäärien suhteen on esitetty kuvassa 40. Tuotantomäärien muuttuessa vaihtoehtojen järjestys säilyy samana, mutta investoinneiltaan suuremmat skenaariot ovat herkempiä tuotantomäärän muutoksille.

Tuotantomäärän ollessa 7 GWh korkeimmat kiinteät kustannukset ovat sikunan ja nestekaasun monopolitossa (5,49 €/MWh), johtuen investoinneista polttimiin ja putkistoihin. Myös sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn monopolitto (3,15 €/MWh) ja nestekaasu (3,85 €/MWh) ovat suhteellisen kalliita vaihtoehtoja samoista syistä. Kiinteiltä kustannuksiltaan halvimmat vaihtoehdot ovat 0,5 % raskas polttoöljy ja kevyt polttoöljy (0,72 €/MWh).



Kuva 40. Eri polttoainevaihtoehtojen kiinteät kustannukset, jotka koostuvat investointien poistoista.

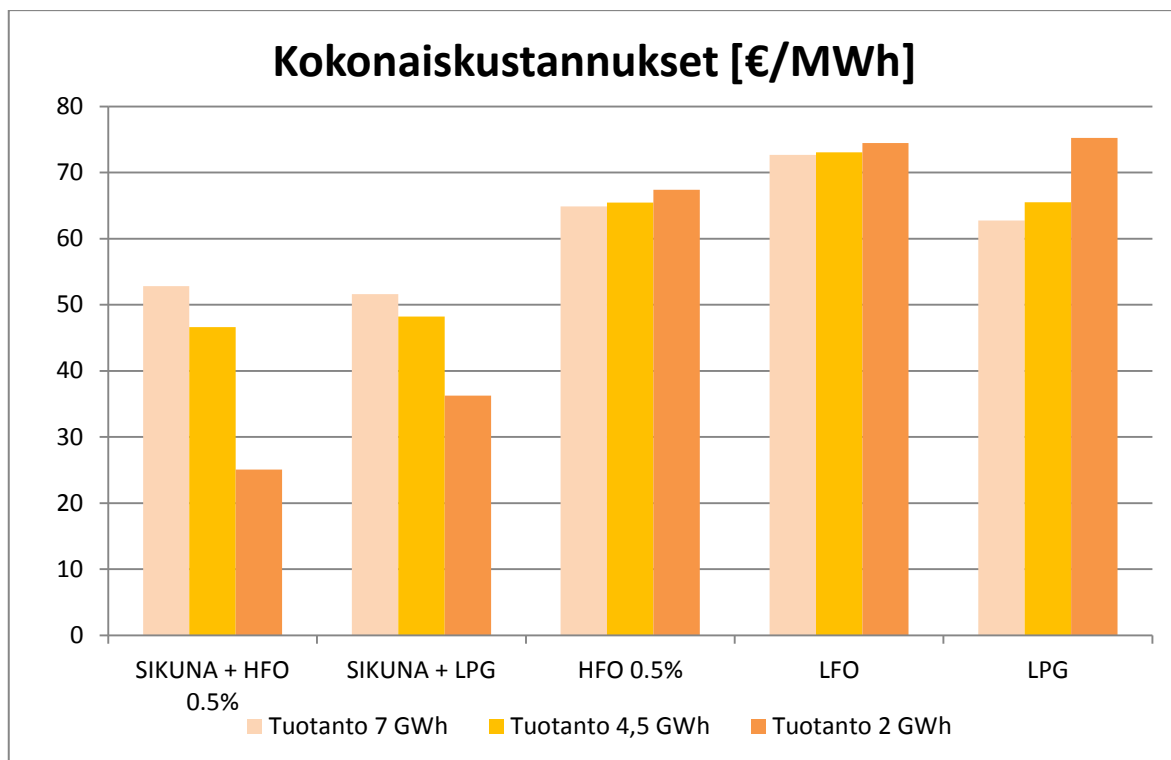
### Kokonaiskustannukset

Muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista koostuvat kokonaiskustannukset eri tuotantomäärien suhteen on esitetty kuvassa 41. Eri vaihtoehdot käyttäytyvät eri tavoin tuotantomäärän muuttuessa. Sikunaa käytettäessä tuotantomäärän lasku laskee kokonaiskustannuksia, koska sikunan osuuden lisääntyessä polttoainekustannukset putoavat merkittävästi. Kun sikunaa ei käytetä, tuotantomäärien lasku kasvattaa kokonaiskustannuksia, koska investointi jakautuu pienemmälle tuotantomäärälle.

Kokonaiskustannusten perusteella vuosituotannon ollessa 7 GWh halvin vaihtoehto on sikunan ja nestekaasun monipoltto (51,62 €/MWh). Toiseksi halvin vaihtoehto on sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn monipoltto (52,80 €/MWh). Kallein vaihtoehto on kevyt polttoöljy (72,67 €/MWh). 0,5 % raskas polttoöljy (64,90 €/MWh) ja nestekaasu (62,74 €/MWh) ovat ääripäiden välissä. Vuosituotantomäärän vähentyessä sikunaa hyödyntävät vaihtoehdot ovat suhteessa vielä kannattavampia, mutta sikunan ja raskaan polttoöljyn monipoltosta tulee sikunan ja nestekaasun monipolttoa kannattavampaa, koska investointikustannus on paljon pienempi.

Koska 0,5 % raskas polttoöljy on kokonaiskustannuksiltaan kevyttä polttoöljyä halvempi, eikä sen käytölle ole teknisiä esteitä, tutkitaan ominaisuuksien vertailussa öljyistä vain 0,5 % raskasta polttoöljyä. Eri polttoainevaihtoehdot ominaisuuksien vertailussa ovat

- sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy
- sikuna ja nestekaasu
- 0,5 % raskas polttoöljy
- nestekaasu.



Kuva 41. Eri polttoainevaihtoehtojen kokonaiskustannukset, jotka koostuvat muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista.

## 6.2.2 Ominaisuuksien vertailu

### *Sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy*

Vaihdettaessa nykyinen 1 % raskas polttoöljy sikunaan ja 0,5 % raskaaseen polttoöljyyn, suurin tekninen muutos on toisen varakattilan polttimen muutos. Sikunan sisältämä etanoli (noin 10 %), propanoli (noin 10 %), isobutanoli (noin 20 %), amyylialkoholi (noin 50 %) ja vesi (noin 10 %) vaativat polttamiseen haponkestävän polttimen. Vaikka sikuna sisältää noin 10 % vettä, on sen lämpöarvo noin 52 MJ/kg, eli sikunan syttymisessä tai palamisessa ei ole ongelmaa. Sikunan siirtoputkisto, säiliötila ja 1 % raskaan polttoöljyn säiliön muuttaminen 0,5 %:lle on teknisesti yksinkertaista. 0,5 % raskaan polttoöljyn hinta riippuu vahvasti raakaöljyn hinnasta, joka aiheuttaa merkittävän hintariskin varsinkin silloin, jos varakattilaa joudutaan käyttämään huomattavasti yli 2 GWh vuodessa.

0,5 % raskas polttoöljy aiheuttaa nestekaasua suuremmat CO<sub>2</sub>-päästöt (päästökerroin 0,284 tnCO<sub>2</sub>/MWh). Lisäksi raskas polttoöljy aiheuttaa nestekaasua suuremmat hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt. Öljyn käytön jatkamisella on siis nestekaasua suuremmat negatiiviset ympäristövaikutukset. Sikunan käyttö öljyn ohella vähentää kuitenkin merkittävästi CO<sub>2</sub>- ja rikkidioksidipäästöjä.

### *Sikuna ja nestekaasu*

Sikunan ja nestekaasun vaihtoehtoon toteuttaminen on suhteellisen yksinkertaista, mutta teknisesti työläämpää kuin sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn vaihtoehtoon. Sikuna vaatii nestekaasun kanssa haponkestävän polttimen, jolla voi polttaa myös kaasua. Varakattilan toinen poltin ja kiertopetikatilan starttipoltin on muutettava kaasupolttimiksi. Lisäksi nes-



tekaasusäiliöiden sijoittaminen vaatii maanrakennustöitä ja sikunan ja nestekaasun siirtoon on rakennettava putkistot. Luvan hakeminen aiheuttaa nestekaasun tapauksessa aikatauluriskin. Nestekaasun hinta vaihtelee kausittain, ollen talvisin korkeampi kuin kesäisin, koska nestekaasua käytetään Euroopassa paljon lämmityspolttoaineena.

Nestekaasukäyttöiset laitteet vaativat vähemmän kunnossapitoa kuin öljykäyttöiset. Nestekaasu aiheuttaa 0,5 % raskasta polttoöljyä vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä (päästökerroin 0,234 tnCO<sub>2</sub>/MWh), joten se on ilmastonmuutoksen kannalta öljyä parempi vaihtoehto. Lisäksi nestekaasu ei aiheuta hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä, ja sen typenoksidipäästöt ovat öljyä alhaisempia. Sikunan käyttö nestekaasun ohella vähentää edelleen CO<sub>2</sub>-päästöjä, sillä kyseessä on uusiutuva polttoaine.

### ***0,5 % raskas polttoöljy***

Nykyisen 1 % raskaan polttoöljyn vaihtaminen 0,5 % raskaaseen polttoöljyyn on teknisesti yksinkertaista ja helppo aikatauluttaa. 0,5 % raskaan polttoöljyn hinta riippuu vahvasti raakaöljyn hinnasta, joka aiheuttaa merkittävän hintariskin varsinkin silloin, jos varakattilaa joudutaan käyttämään paljon. 0,5 % raskas polttoöljy aiheuttaa nestekaasua suuremmat CO<sub>2</sub>-päästöt (päästökerroin 0,284 tnCO<sub>2</sub>/MWh). Lisäksi raskas polttoöljy aiheuttaa nestekaasua suuremmat hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt. Öljyn käytön jatkamisella on siis nestekaasua suuremmat negatiiviset ympäristövaikutukset.

### ***Nestekaasu***

Nestekaasuun vaihtaminen on teknisesti työläämpää kuin 0,5 % raskaaseen polttoöljyyn vaihtaminen. Varakattilan ja kiertopetikatilan polttimet on muutettava kaasulle sopiviksi, nestekaasusäiliöiden sijoittaminen vaatii maanrakennustöitä ja nestekaasun siirtoon on rakennettava putkisto. Luvan hakeminen aiheuttaa lisäksi aikatauluriskin. Nestekaasun hinta vaihtelee kausittain, ollen talvisin korkeampi kuin kesäisin, koska nestekaasua käytetään Euroopassa paljon lämmityspolttoaineena.

Nestekaasukäyttöiset laitteet vaativat vähemmän kunnossapitoa kuin öljykäyttöiset. Nestekaasu aiheuttaa 0,5 % raskasta polttoöljyä vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä (päästökerroin 0,234 tnCO<sub>2</sub>/MWh), joten se on ilmastonmuutoksen kannalta öljyä parempi vaihtoehto. Lisäksi nestekaasu ei aiheuta hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä, ja sen typenoksidipäästöt ovat öljyä alhaisempia.

## **6.2.3 Optimaalinen skenaario**

Koskenkorvan polttoainevaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet on esitetty taulukossa 27. Harjavallan tavoin optimaalinen skenaario riippuu siitä, miten eri vaihtoehtojen vahvuuksia ja heikkouksia painotetaan.

Jos tavoitteena on varakattilan käytön minimointi, eikä muutostöihin haluta investoida paljon rahaa, on paras vaihtoehto 0,5 % raskas polttoöljy. Jos taas varakattilaa arvioidaan jatkossakin käytettävän ainakin 2 GWh, halutaan säästää vuosittaisista muuttuvista kustannuksista ja voidaan investoida suurempi summa varakattilan hiilineutraaliuteen, on paras vaihtoehto sikunan ja 0,5 % raskas polttoöljyn monipoltto, koska sikunaan tehtävät investoinnit maksavat itsensä takaisin muutamassa vuodessa. Sikunan ja nestekaasun monipoltton ja nestekaasun korkeisiin investointeihin liittyvät riskit ovat liian suuria tuomiinsa hyötyihin nähden.

*Taulukko 27. Polttoainevaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet.*

Vaihtoehto	Vahvuudet	Heikkoudet
Sikuna ja 0,5 % raskas polttoöljy	<p>Pienet muuttuvat kustannukset</p> <p>Teknisesti yksinkertainen toteutus</p> <p>Sikuna vähentää CO<sub>2</sub>- ja rikkidioksidipäästöjä</p>	<p>CO<sub>2</sub>-, hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt</p> <p>Öljyn hinnanvaihtelun seurauksena polttoaineen hintariski</p>
Sikuna ja nestekaasu	<p>Pienet muuttuvat kustannukset</p> <p>Pieni kunnossapidon tarve</p> <p>Alhaiset CO<sub>2</sub>-, hiukkas-, typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöt</p>	<p>Korkea investointikustannus</p> <p>Teknisesti työläs toteutus</p> <p>Nestekaasun luvan hakeminen aiheuttaa aikatauluriskin</p> <p>Nestekaasun hinnan kausivaihtelut aiheuttavat hinnan ennustamisen vaikeuden</p>
0,5 % raskas polttoöljy	<p>Pieni investointikustannus</p> <p>Teknisesti yksinkertainen toteutus</p>	<p>Korkeat muuttuvat kustannukset</p> <p>CO<sub>2</sub>-, hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt</p> <p>Öljyn hinnanvaihtelun seurauksena polttoaineen hintariski</p>
Nestekaasu	<p>Pieni kunnossapidon tarve</p> <p>Ei hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä</p>	<p>Korkea investointikustannus</p> <p>Luvan hakeminen aiheuttaa aikatauluriskin</p> <p>Hinnan kausivaihtelut aiheuttavat hinnan ennustamisen vaikeuden</p>

## 7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Uusia alle 50 MW polttoaineteholtaan olevia polttolaitoksia (pienet polttolaitokset) on vuodesta 2013 koskenut Valtioneuvoston asetus 750/2013 (Pienten Polttolaitosten asetus, PIPO). Olemassa olevat polttolaitokset siirtyvät PIPO:n piiriin ympäristölupaa muutettaessa, tai viimeistään vuoden 2018 alusta. Tulevaisuudessa pieniä polttolaitoksia tulee koskemaan myös Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193 (MCP, *engl. Medium Combustion Plant Directive*), jonka piiriin olemassa olevat pienet polttolaitokset siirtyvät vuoden 2025 alussa, jos niiden polttoaineteho on yli 5 megawattia, tai vuoden 2030 alussa, jos niiden polttoaineteho on enintään 5 megawattia. Pieniä polttolaitoksia koskeva lainsäädäntö on energiapalveluliiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa, koska merkittävä osa liiketoimintaan liittyvistä polttolaitoksista on tässä kokoluokassa.

PIPO-asetus ja MCP-direktiivi asettavat polttolaitosten hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöille aikaisempaa tiukempia päästöraja-arvoja. Lisäksi PIPO:n ja MCP:n muut määräykset saattavat vaativat toimenpiteitä olemassa olevissa polttolaitoksissa. Kiristyvät päästörajat vaativat joissakin tapauksissa polttolaitoksen polttoaineen vaihtamista tai savukaasujen puhdistamista. Osa savukaasujen puhdistustavoista on investointeina pieniä tai keskisuuria. Esimerkkeinä voidaan mainita syklonit, palamistekniset typen oksidien vähennyskeinot ja kalkki-injektio tulipesään rikin oksidien sitomiseksi. Monet puhdistuskeinot ovat kuitenkin investointisummiltaan merkittävän suuria, esimerkiksi sähkö- ja letkusuodattimet ja rikkipesurit. Kokonaistaloudellisimman ja teknisesti sopivan ratkaisun löytäminen vaatii sekä eri polttoainelaatujen, että eri puhdistuskeinojen vertailemista tapauskohtaisesti eri polttolaitoksissa.

Tässä diplomityössä on esitelty PIPO:n ja MCP:n vaatimia muutoksia teollisuuden energiapalveluita tuottavan Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:n (lyhennettynä STEP) polttolaitoksiin. STEP toimii energiapalveluiden tuottajana teollisuusasiakkaille Harjavallan Suurteollisuuspuistossa, Koskenkorvalla, Seinäjoella ja Kaustisilla. Jokaisesta kohteesta löytyi kokonaisuuksia, jotka vaativat muutoksia ennen PIPO:n voimaantuloa. Esimerkkeinä tarvittavista muutoksista ovat kemikaalisäiliöiden suoja-altaat, polttoöljyn purkupaikkojen asfaltoinnit, sekä puuttuvat jatkuvatoimiset mittaukset. Suurimmat muutokset liittyvät päästöjen raja-arvojen saavuttamiseen. Seinäjoen laitos täytti päästöraja-arvot ja Kaustisen tapauksessa ratkaisut ovat yksinkertaisia, eikä vertailua tarvittu. Harjavallan ja Koskenkorvan osalta taas erilaisia vaihtoehtoja oli useita, joten eri polttoaineiden ja puhdistustekniikoiden vaihtoehtoista tehtiin diplomityössä teknistaloudellinen vertailu.

Harjavallan osalta 1 % raskaan polttoöljyn korvaavina vaihtoehtoina tutkittiin rikkipesuri-investointia, rikkipitoisuudeltaan 0,5 % ja 0,1 % raskaita polttoöljyjä, kevyttä polttoöljyä, 1 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seosta, 0,5 % raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn seosta, pyrolyysiöljyä, nestekaasua ja nesteytettyä maakaasua. Teknistaloudellisen vertailun perusteella parhaimmiksi vaihtoehtoiksi valikoituivat 0,1 % raskas polttoöljy, nestekaasu ja nesteytetty maakaasu. Nesteytetty maakaasu on vaihtoehtoista investoinnin kannalta kallein, mutta maakaasulla on teknisesti parhaat ominaisuudet ja maakaasun käyttöön liittyy muita etuja, kuten alhaisimmat hiilidioksidipäästöt. 0,1 % raskas polttoöljy on investointina edullisin, mutta teknisesti ja muiden ominaisuuksien puolesta kaasuvaihtoehtoja huonompi vaihtoehto. Nestekaasu sijoittuu investointikustannuksiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan 0,1 % raskaan polttoöljyn ja nesteytetyn maakaasun väliin. Optimaalinen vaihtoehto riippuu siitä, mitä asioita valinnassa painotetaan.

Diplomityön tulosten pohjalta Harjavallassa päädyttiin toteuttamaan hybridiratkaisu nesteytetyn maakaasun ja kevyen polttoöljyn välillä. Hybridiratkaisussa päädyttiin rakentamaan nesteytetyn maakaasun siirtoputkisto, putkiyhde Boliden Harjavalta Oy:n kevyen polttoöljyn siirtoputkeen, sekä vaihtamaan kattiloiden raskaan öljyn polttimet yhdistelmäpolttimiksi. Ottamalla kevyt polttoöljy nesteytetyn maakaasun rinnalle vältettiin merkittävät investoinnit nesteytetyn maakaasun säiliöön ja muihin säiliöpään laitteistoihin. Tämänlaista hybridiratkaisua ei ennen diplomityön tekoa osattu kuvitella vaihtoehdoksi, mutta diplomityön aikana kerätyn tiedon avulla oli mahdollista tarkastella myös useampaa polttoainetta hyödyntäviä ratkaisuita.

Koskenkorvan osalta diplomityössä tarkasteltiin rikkipitoisuudeltaan 1 % raskaan polttoöljyn korvaavina polttoainevaihtoehtoina rikkipitoisuudeltaan 0,5 % raskasta polttoöljyä, kevyttä polttoöljyä, nestekaasua, 0,5 % raskaan polttoöljyn ja sikunan monipolttoa, ja nestekaasun ja sikunan monipolttoa. Teknistaloudellisen vertailun perusteella parhaat vaihtoehdot ovat 0,5 % raskas polttoöljy, sekä sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn monipoltto. 0,5 % raskas polttoöljy ilman sikunan polttoa varakattilassa on investointina huomattavasti edullisempi kuin sikunan kanssa, mutta korvaamalla öljyä sikunalla saavutetaan huomattavat säästöt vuotuisissa polttoainekustannuksissa ja vähennetään varakattilan päästöjä. Optimaalinen vaihtoehto riippuu taas siitä, mitä painotetaan. Koskenkorvalla päädyttiin vaihtamaan diplomityön tulosten pohjalta 1 % raskas polttoöljy 0,5 % raskaaseen polttoöljyyn.

Eri paikkakunnilla toimivat polttolaitokset ja niiden toimintaympäristöt ovat huomattavan erilaisia. Tästä syystä myös PIPO-asetuksen ja MCP-direktiivin vaatimat muutokset, eri paikkakunnilla saatavilla olevat polttoainevaihtoehdot, ja kunkin kohteen paras polttoainevaihtoehto eroavat toisistaan, eikä universaalisti parasta ratkaisua ole olemassa. Tästä johtuen tämän diplomityön tuloksia voidaan käyttää ainoastaan suuntaa-antavina samantyyppisten polttolaitosten muutosten osalta. Tarkkojen muutostarpeiden selvittämiseksi tarkastelu on tehtävä kunkin uniikin polttolaitoksen osalta laitoskohtaisesti.

## Lähdeluettelo

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. [Verkkodokumentti]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Espoo. [Viitattu 1.11.2016]. ISBN 978-951-38-8419-2. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>.
- Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2015. Ympäristölupapäätös ESAVI/11819/2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: [https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=2064097](https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=2064097).
- Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2011. Ympäristölupapäätös ESAVI/462/04.08/2010. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: [http://www.avi.fi/documents/10191/56818/esavi\\_paatos\\_18\\_2011\\_1-2011-03-02.pdf](http://www.avi.fi/documents/10191/56818/esavi_paatos_18_2011_1-2011-03-02.pdf).
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193. 2015. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L2193&from=EN>.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/80/EY. 2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/80/EY. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0080&from=EN>.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN>.
- Eurooppa-neuvosto. Puhtaan ilman paketti: ilmanlaatu paremmaksi Euroopassa. [Verkkosivu]. 5.1.2016. [Viitattu 17.10.2016]. Saatavissa: <http://www.consilium.europa.eu/fi/policies/clean-air/>.
- Flagan, R.C. & Seinfeld, J.H. 1988. Fundamentals of air pollution engineering. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 542 s. ISBN 0-13-332537-7. Saatavissa: <http://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf>.
- Frey, A. 2014. Study on soot and other refractory components from various combustion processes. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. Finnish Meteorological Institute. [Viitattu 31.10.2016]. ISBN 978-951-697-826-3. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44712/frey\\_dissertation.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44712/frey_dissertation.pdf?sequence=1).
- Green Fuel Nordic Oy 2013. Kuinka modifioidaan olemassa oleva laitos bioöljylle (RFO) soveltuvaksi. [Verkkodokumentti]. Green Fuel Nordic Oy. [Viitattu 14.10.2016]. Saatavissa: [http://www.greenfuelnordic.fi/resources/public//media/download/White%20Papers//2013-09-Kuinka-modifioidaan-olemassa-oleva-laitos-bio%C3%B6ljylle-soveltuvaksi\\_v1.0.pdf](http://www.greenfuelnordic.fi/resources/public//media/download/White%20Papers//2013-09-Kuinka-modifioidaan-olemassa-oleva-laitos-bio%C3%B6ljylle-soveltuvaksi_v1.0.pdf).

Kampa, M. & Castanas, E. 2008. Human health effects of air pollution. Environmental pollution. [Verkkolehti]. Vol. 151:2. S. 362-367. [Viitattu 30.11.2016]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/profile/Elias\\_Castanas/publication/6192687\\_Human\\_health\\_effects\\_of\\_air\\_pollution/links/00b7d52caecc424493000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Elias_Castanas/publication/6192687_Human_health_effects_of_air_pollution/links/00b7d52caecc424493000000.pdf).

Lammi, K., Lehtonen, E. & Timonen, T. 1993. Energiantuotannon hiukkaspäästöjen teknis-taloudelliset vähentämismahdollisuudet. Helsinki: Ympäristöministeriö. 64 s.

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto. 2014. Ympäristölupapäätös LSSA-VI/3437/04.08/2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: [https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=1417461](https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=1417461).

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto. 2014. Ympäristölupapäätös LSSA-VI/50/04.08/2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: [https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=1381306](https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=1381306).

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto. 2014. Ympäristölupapäätös LSSA-VI/64/04.08/2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: [https://www.avi.fi/documents/10191/1029180/lssavi\\_paatos\\_55\\_2014\\_1\\_2014\\_03\\_27.pdf/d5e5b73e-8b27-432c-91d3-22c1ff18bb46](https://www.avi.fi/documents/10191/1029180/lssavi_paatos_55_2014_1_2014_03_27.pdf/d5e5b73e-8b27-432c-91d3-22c1ff18bb46).

Länsi-Suomen ympäristökeskus. 2007. Ympäristölupapäätös LSU-2004-Y-1201. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BBA062D4F-8BD4-4E76-A8CA-9C88A4BDE3A8%7D/82822>.

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2009. Päätös lupamääräysten tarkistamisesta LSY-2008-Y-146. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2016]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD818C1D5-9B8B-4F9E-9AB9-C8BCE857FD0F%7D/87717>.

Lehto, J., Oasmaa, A., Solantausta, Y., Kyto, M. & Chiaramonti, D. 2013. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. VTT Technology. [Verkkolehti]. Vol. 87:S. 79. [Viitattu 21.12.2016]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/Documents/T87.pdf>.

Nicol, K. 2013. Recent developments in particulate control. CCC/218, London, UK, IEA Clean Coal. ISBN 978-92-9029-538-9. Saatavissa: [https://www.usea.org/sites/default/files/032013\\_Recent%20developments%20in%20particulate%20control\\_ccc218.pdf](https://www.usea.org/sites/default/files/032013_Recent%20developments%20in%20particulate%20control_ccc218.pdf).

Ohlström, M. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). [Viitattu 31.10.2016]. ISBN 951-38-5404-3. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1934.pdf>.

Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A. & Raunemaa, T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen vaikutukset. VTT tiedotteita 2300. [Viitattu 31.10.2016]. ISBN 951-38-6721-8. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/t2300.pdf>.

Pöyry Management Consulting Oy. 2010. Laskelma lämmityksen päästöistä. [Verkkodokumentti]. Pöyry Management Consulting Oy. Espoo. [Viitattu 31.10.2016]. Saatavissa: [http://www.oil.fi/sites/default/files/sivut/sisaltosivu/liitetiedostot/7\\_3\\_2\\_lammitysmuotojen\\_paastot.pdf](http://www.oil.fi/sites/default/files/sivut/sisaltosivu/liitetiedostot/7_3_2_lammitysmuotojen_paastot.pdf).

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. (toim.). 2002. Poltto ja palaminen. 2nd ed. Jyväskylä: Teknistieteelliset akatemit International Flame Research Foundation - Suomen kansallinen osasto. 750 s. ISBN 951-666-604-3.

Srivastava, R. K. 2000. Controlling SO<sub>2</sub> Emissions-a Review of Technologies EPA/600/R-00/093. [Verkkodokumentti]. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Washington, DC. [Viitattu 21.12.2016]. Saatavissa: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_file\\_download.cfm?p\\_download\\_id=438450](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=438450).

Srivastava, R. K. & Jozewicz, W. 2001. Flue gas desulfurization: the state of the art. Journal of the Air & Waste Management Association. [Verkkolehti]. Vol. 51:12. S. 1676-1688. [Viitattu 21.12.2016]. Saatavissa: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2001.10464387>.

United States Environmental Protection Agency Air Pollution Control Technology Fact Sheet -Flue Gas Desulfurization (FGD) - Wet, Spray Dry, and Dry Scrubbers (EPA-CICA Fact Sheet). [Verkkodokumentti]. United States Environmental Protection Agency. [Viitattu 21.12.2016]. Saatavissa: <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/ffdg.pdf>.

Valtioneuvoston asetus 1017/2002. 2002. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20021017>.

Valtioneuvoston asetus 445/2010. 2010. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100445>.

Valtioneuvoston asetus 750/2013. 2013. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>.

Valtioneuvoston asetus 936/2014. 2014. Valtioneuvoston asetus suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140936>.

Williams, P.T. 2013. Waste Treatment and Disposal. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 380 s. ISBN 0-470-84913-4. Saatavissa: <https://nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/2507>.

Winnes, H. & Fridell, E. 2009. Particle Emissions from Ships: Dependence on Fuel Type. Journal of the Air & Waste Management Association. [Verkkolehti]. Vol. 59:12. S. 1391-1398. [Viitattu 1.11.2016]. ISSN 1047-3289. Saatavissa: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3155/1047-3289.59.12.1391>.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. 2014. Ympäristönsuojelulaki 527/2014. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>.

Ympäristönsuojelulaki 86/2000. 2000. Ympäristönsuojelulaki 86/2000. [Verkkodokumentti]. Helsinki. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>.

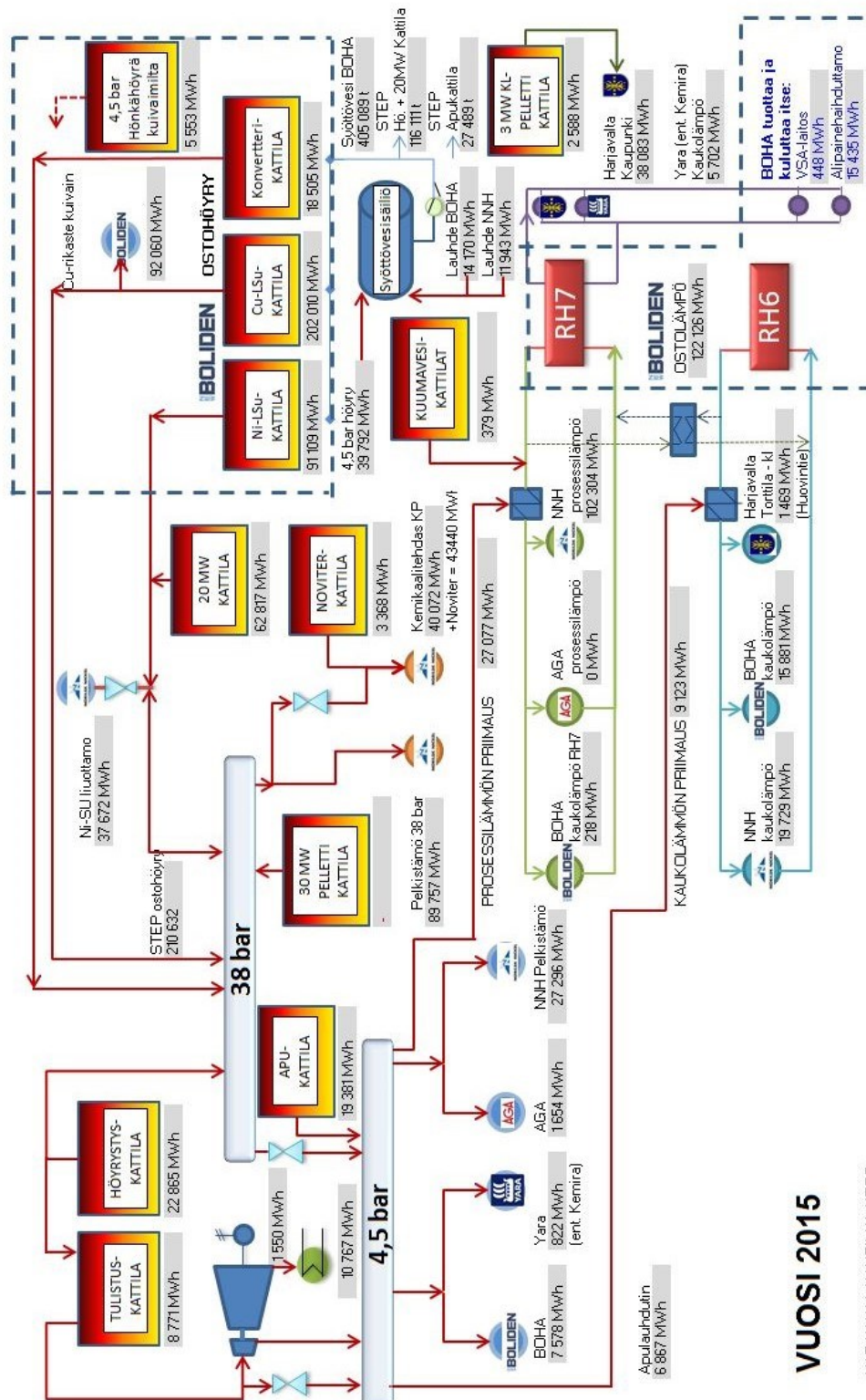
Zevenhoven, R. & Kilpinen, P. 2004. Control of pollutants in flue gases and fuel gases. 3rd ed. Espoo/Turku, Finland: Helsinki University of Technology. ISBN 951-22-5527-8. Saatavissa: <http://users.abo.fi/rzevenho/CONTENTS.PDF>.



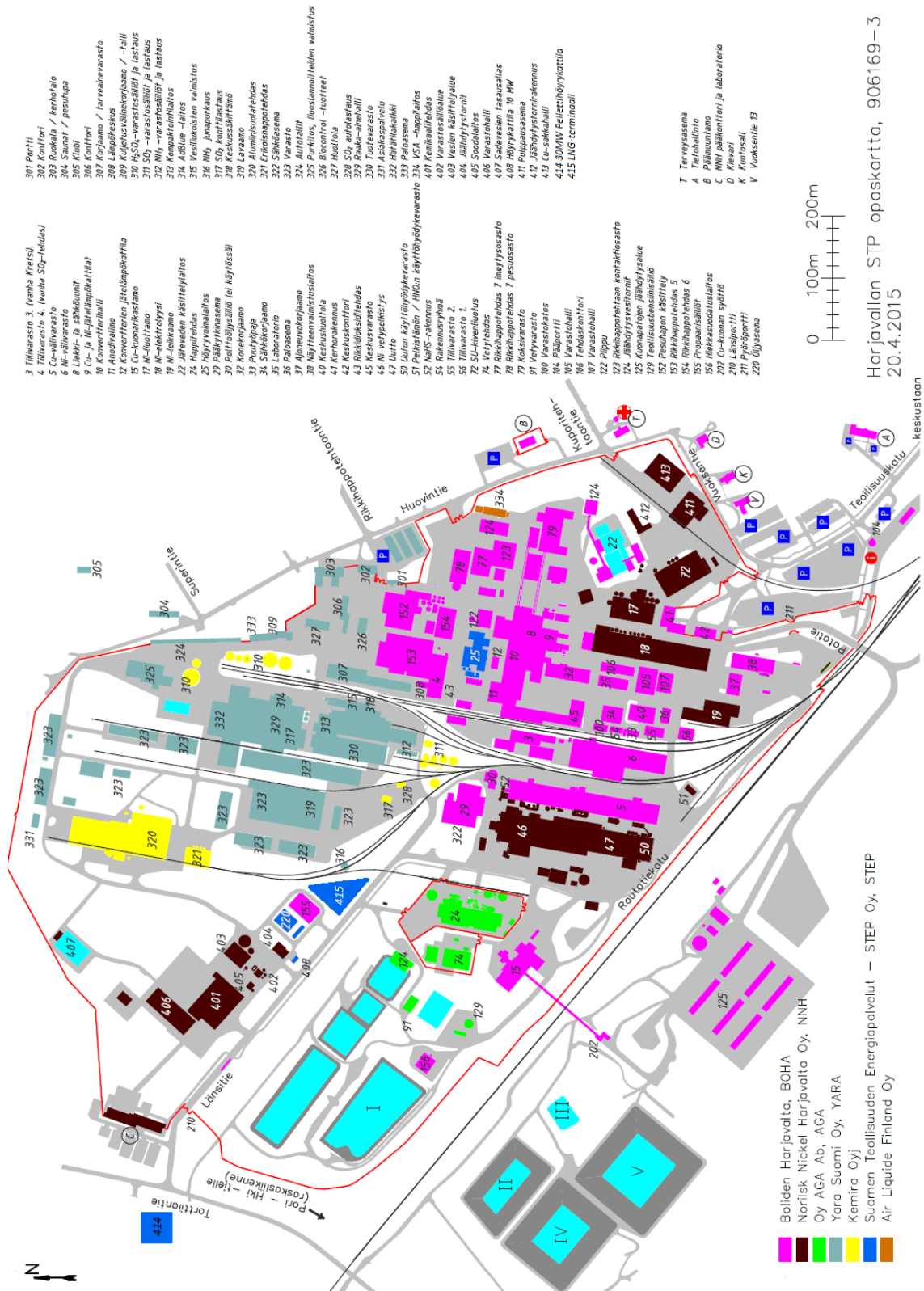
## **Liiteluettelo**

- Liite 1. Harjavallan Suurteollisuuspuiston energiatase. 1 sivu.
- Liite 2. Harjavallan Suurteollisuuspuiston karttakuva. 1 sivu.
- Liite 3. Harjavallan skenaarioiden investoinnit. 9 sivua.
- Liite 4. Koskenkorvan skenaarioiden investoinnit. 5 sivua.

**VUOSI 2015**



## Liite 2. Harjavallan Suurteollisuuspuiston karttakuva



## Liite 3. Harjavallan skenaarioiden investoinnit

### 1 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.

Investointi	[€]
Rikkipesuri ja savukaasuputkistomuutokset	2 000 000
15,7 MW Apukattila 37,5 m savupiippu	90 000
18,2/7 MW Höyrystys-/tulistus-kattila 45 m savupiippu	110 000
10,9 MW Noviter-kattila 37,5 m savupiippu	80 000
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	100 000
Projektivaraus 10 %	241 000
<b>Yhteensä</b>	<b>2 651 000</b>

### 1 % raskaan polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.

Muuttuva kustannus	[€/a]
Tuotantokustannukset	1 195 169
Huolto- ja käyttökustannukset	335 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 530 169</b>

**0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Rikkipesuri ja savukaasuputkistomuutokset	2 000 000
15,7 MW Apukattila 22,5 m savupiippu	50 000
Poltinmuutokset	66 000
HFO säiliön puhdistus	20 000
HFO 0,5 % DN 80 putkisto, pumppu, venttiilit, toimilaitteet	239 950
Sunnittelu	30 000
Projektinhallinta	100 000
Projektivaraus 10 %	250 595
<b>Yhteensä</b>	<b>2 756 545</b>

**0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 314 523
Huolto- ja käyttökustannukset	325 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 639 523</b>

**0,1 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
15,7 MW Apukattila 22,5 m savupiippu	50 000
Poltinmuutokset	66 000
HFO säiliön puhdistus	20 000
HFO 0,1 % DN 80 putkisto, pumppu, venttiilit, toimilaitteet	239 950
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	50 000
Projektivaraus 10 %	45 595
<b>Yhteensä</b>	<b>501 545</b>

**0,1 % raskaan polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 388 800
Huolto- ja käyttökustannukset	120 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 508 800</b>

**Kevyen polttoöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	66 000
HFO säiliön puhdistus	20 000
LFO DN 80 putkisto, pumppu, venttiilit, toimilaitteet	198 700
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	50 000
Projektivaraus 10 %	34 470
<b>Yhteensä</b>	<b>379 170</b>

**Kevyen polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 516 790
Huolto- ja käyttökustannukset	115 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 631 790</b>

**1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
15,7 MW Apukattila 37,5 m savupiippu	90 000
18,2/7 MW Höyrystys-/tulistus-kattila 45 m savupiippu	110 000
10,9 MW Noviter-kattila 37,5 m savupiippu	80 000
Poltinmuutokset	66 000
Päiväsäiliön muutos sekoitussäiliöksi	20 000
LFO DN 50 putkisto, mittaus, venttiilit, toimilaitteet	63 500
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	50 000
Projektivaraus 10 %	50 950
<b>Yhteensä</b>	<b>560 450</b>

**1 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 452 466
Huolto- ja käyttökustannukset	125 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 577 466</b>



**0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
15,7 MW Apukattila 22,5 m savupiippu	50 000
Poltinmuutokset	66 000
HFO säiliön puhdistus	20 000
Päiväsäiliön muutos sekoitussäiliöksi	20 000
HFO 0,5 % ja LFO / DN 50 putkistot, LFO mittaus, venttiilit, toimilaitteet	272 925
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	50 000
Projektivaraus 10 %	50 893
<b>Yhteensä</b>	<b>559 818</b>

**0,5 % raskaan- ja kevyen polttoöljyn seoksen skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 435 883
Huolto- ja käyttökustannukset	120 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 555 883</b>

**Pyrolyysiöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
18,2/7 MW Höyrystys-/tulistus-kattila multisykloni	90 000
Uudet haponkestävät polttimet	1 495 000
Eristetty, lämmitetty, haponkestävä 500m <sup>3</sup> säiliö	375 000
Pyrolyysiöljy DN 160 putkistot, venttiilit, toimilaitteet	301 675
Suunnittelu	30 000
Projektinhallinta	50 000
Projektivaraus 10 %	234 168
<b>Yhteensä</b>	<b>2 575 843</b>

**Pyrolyysiöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 381 293
Huolto- ja käyttökustannukset	135 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 516 293</b>

**Nesteytetyn maakaasun skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	530 000
Säiliö, höyrystin, säiliöpään putkistot ja laitteistot, säiliöpään suunnittelu ja asennus	2 550 000
LNG DN 200 putkisto, voimalaitoksen putkisto, venttiilit, toimilaitteet	308 750
Suunnittelu	40 000
Projektinhallinta	100 000
Projektivaraus 5 %	176 438
<b>Yhteensä</b>	<b>3 705 188</b>

**Nesteytetyn maakaasun skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 371 660
Huolto- ja käyttökustannukset	80 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 451 660</b>

**Nestekaasun skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	530 000
Säiliö, höyrystin, säiliöpään putkistot ja laitteistot	551 000
LPG DN 50 tai DN 200 putkisto, venttiilit, toimilaitteet	383 000 (nestem.) 542 880 (kaasum.)
Suunnittelu	50 000
Projektinhallinta	100 000
Projektivaraus 5 %	80 700 (nestem.) 88 694 (kaasum.)
<b>Yhteensä</b>	<b>1 694 700 (nestem.) tai 1 862 574 (kaasum.)</b>

**Nestekaasun skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	1 209 336
Huolto- ja käyttökustannukset	80 000
<b>Yhteensä</b>	<b>1 289 336</b>

## Liite 2. Koskenkorvan skenaarioiden investoinnit

### Kevyen polttoöljyn skenaarion investoinnit.

Investointi	[€]
Poltinmuutokset	30 000
HFO säiliön puhdistus	10 000
Öljysäiliön täyttöputki 50m DN50 venttiileineen ja päiväsäiliön ohittaminen	19 000
Suunnittelu ja projektinhallinta	10 000
Projektivaraus 10 %	6 900
<b>Yhteensä</b>	<b>75 900</b>

### Kevyen polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.

Muuttuva kustannus	[€/a]
Tuotantokustannukset	503 634
Muut muuttuvat kustannukset	0
<b>Yhteensä</b>	<b>503 634</b>

**0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	30 000
HFO säiliön puhdistus	10 000
Öljysäiliön täyttöputki 50m DN50 venttiileineen ja päiväsäiliön ohittaminen	19 000
Suunnittelu ja projektinhallinta	10 000
Projektivaraus 10 %	6 900
<b>Yhteensä</b>	<b>75 900</b>

**0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	447 208
Muut muuttuvat kustannukset	2 000
<b>Yhteensä</b>	<b>449 208</b>

**Nestekaasun skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	297 500
LPG säiliön asennus	20 000
Nestekaasuputkisto 200m DN25 venttiileineen, toimilaitteineen ja sähköistysineen	30 000
Suunnittelu ja projektinhallinta	20 000
Projektivaraus 10 %	36 750
<b>Yhteensä</b>	<b>404 250</b>

**Nestekaasun skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	404 264
Muut muuttuvat kustannukset	8 000
<b>Yhteensä</b>	<b>412 264</b>

**Sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	180 000
HFO säiliön puhdistus	10 000
Öljysäiliön täyttöputki 50m DN50 venttiileineen ja päiväsäiliön ohittaminen	19 000
Sikunan siirtoputki 150m DN50 venttiileineen	27 000
Sikunan ja E-viinan putkisto- ja varastointimuutokset	50 000
Suunnittelu ja projektinhallinta	15 000
Projektivaraus 10 %	30 100
<b>Yhteensä</b>	<b>331 100</b>

**Sikunan ja 0,5 % raskaan polttoöljyn skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	345 523
Muut muuttuvat kustannukset	2 000
<b>Yhteensä</b>	<b>347 523</b>



**Sikunan ja nestekaasun skenaarion investoinnit.**

<b>Investointi</b>	<b>[€]</b>
Poltinmuutokset	372 500
LPG säiliön asennus	20 000
Nestekaasuputkisto 200m DN25 venttiileineen, toimilaitteineen ja sähköistysineen	30 000
Sikunan siirtoputki 150m DN50 venttiileineen	27 000
Sikunan ja E-viinan putkisto- ja varastointimuutokset	50 000
Suunnittelu ja projektinhallinta	25 000
Projektivaraus 10 %	52 450
<b>Yhteensä</b>	<b>576 950</b>

**Sikunan ja nestekaasun skenaarion muuttuvat kustannukset.**

<b>Muuttuva kustannus</b>	<b>[€/a]</b>
Tuotantokustannukset	314 849
Muut muuttuvat kustannukset	8 000
<b>Yhteensä</b>	<b>322 849</b>